Niveau(x) d'enseignement: 9 Numéro EDUQ : 8770087
Centre d'intérêt: 874

Principes du courant continu : cours 8015 / Direction des cours par correspondance ; [trad. de l'anglais]. -- [Québec] : Publications du Québec, c1986.
300 p. : ill., graph., plans ; 24 cm. -- (De l'électron au microprocesseur)

Titre original: Electronics technology. Index: p. 297-300.

ISBN 2-551-06625-5

Vedette(s)-secondaire(s): Québec (Province) Direction des cours par correspondance

Cote Dewey: 621.3'0202/P957 Cote LC: TK/146

Descripteur(s): Techniques physiques * Enseignement par correspondance * Manuel scolaire * Education des adultes

Identificateur(s) de sujet: Electricité * Electrotechnique

L'ouvrage est destiné aux étudiants qui voudraient, grâce à ce cours par correspondance, devenir électriciens d'entretien en usine. Le volume veut permettre à l'étudiant de se familiariser avec les circuits électriques de base. Il est divisé en huit modules: 1. nature de l'électricité; 2. entretien préventif; 3. piles électriques et accumulateurs; 4. les composants électriques et la loi d'Ohm; 5. montages de circuits électriques; 6. outillage et vocabulaire de l'électricité; 7. magnétisme et électro-magnétisme; 8. génératrices à courant continu. Chaque module est illustré de dessins en deux couleurs et les parties les plus significatives du texte sont indiquées en rouge. A la fin de chaque chapitre, on trouve un mini-test corrigé et, à la fin de chaque module, un examen personnel avec corrigé. Enfin, à la fin de chaque module, sont annexés des lexiques, français-anglais et anglais-français.

Type de document: d

DE L'ÉLECTRON AU MICROPROCESSEUR

EDUQ 8770087

COURS 8015

PUBLICATIONS
DU QUÉBEC

Principes du courant continu

Québec

EDUQ 8770027

Principes du courant continu

DE L'ÉLECTRON AU MICROPROCESSEUR

COURS 8015

Les PUBLICATIONS DU QUÉBEC

Principes du courant continu

Québec

Coordonnateur: Carmine D'Amato, prof.

Cet ouvrage a été préparé par la Direction des cours par correspondance, Gouvernement du Québec.

Le contenu de cette publication est la version française de «Electronics Technology» publiée sous licence des Écoles internationales d'enseignement par correspondance canadienne limitée et il a été rédigé par le ministère de l'Éducation.

Cette édition a été produite par Les Publications du Québec.

Tous droits de traduction et d'adaptation en totalité ou en partie réservés pour tous pays. Toute reproduction par procédé mécanique ou électronique y compris la microreproduction est interdite sans l'autorisation écrite d'un représentant dûment autorisé de la Direction générale des publications gouvernementales du ministère des Communications.

Dépôt légal — 3e trimestre 1986
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-551-06625-5

© Gouvernement du Québec, 1986

Introduction

Cet ouvrage est le premier volume de la collection DE L'ÉLECTRON AU MICROPROCESSEUR. Il est destiné aux étudiants qui en sont à leur premier cours ou à leurs premières expériences en électricité.

Nous n'avons pas la prétention de vouloir former des experts. Ce volume vous permettra toutefois de vous familiariser avec les circuits électriques de base et la loi fondamentale de l'électricité: la loi d'Ohm. Les mathématiques que nous proposons sont réduites au strict minimum, bien que quelques problèmes numériques requièrent l'utilisation des puissances de 10.

Le système utilisé est le Système International d'Unités, (SI). Les valeurs équivalentes dans le système impérial suivent entre parenthèses. Un tableau comparatif des deux systèmes est présenté à la fin du volume. De plus, nous avons suivi la tendance actuelle et fait appel à la notion de courant réel ou électronique.

Le texte, clair et d'une lisibilité facile, est fidèle à la pédagogie des cours par correspondance.

Cet ouvrage est abondamment illustré de dessins en deux couleurs et les parties les plus significatives du texte sont indiquées en rouge.

Ce cours renferme de nombreux exemples; à la fin de chaque chapitre, on trouve un mini-test avec corrigé et, à la fin de chaque module, un examen personnel, toujours avec corrigé. Ces épreuves facultatives vous permettront d'évaluer plus facilement vos progrès.

Enfin, compte tenu du contexte linguistique québécois, nous avons annexé à la fin de chaque module deux lexiques: français-anglais et anglais-français, qui vous permettront d'assimiler plus facilement la terminologie technique.

Sans vouloir imposer cette dernière, soulignons cependant qu'elle est le fruit de la consultation de plusieurs ouvrages spécialisés tels que:

1) le Dictionnaire technique général de Bélisle;
2) le Lexique électrotechnique général de la compagnie Générale Électrique;
3) le Code canadien de l'électricité;
4) le Dictionnaire anglais-français de H. Piraux;
5) le Lexique anglais-français de l'électronique au Québec, par l'Office de la langue française.

Nous espérons que ce volume contribuera à démystifier l'électrotechnique, une science qui a évolué d'une façon exponentielle et révolutionné notre façon de vivre au cours des dernières décennies.

Le Coordonnateur
Carmine D'Amato

Introduction

Cet ouvrage est le premier volume de la collection DE L'ÉLECTRON AU MICROPROCESSEUR. Il est destiné aux étudiants qui en sont à leur premier cours ou à leurs premières expériences en électricité.

Nous n'avons pas la prétention de vouloir former des experts. Ce volume vous permettra toutefois de vous familiariser avec les circuits électriques de base et la loi fondamentale de l'électricité: la loi d'Ohm. Les mathématiques que nous proposons sont réduites au strict minimum, bien que quelques problèmes numériques requièrent l'utilisation des puissances de 10.

Le système utilisé est le Système International d'Unités, (SI). Les valeurs équivalentes dans le système impérial suivent entre parenthèses. Un tableau comparatif des deux systèmes est présenté à la fin du volume. De plus, nous avons suivi la tendance actuelle et fait appel à la notion de courant réel ou électronique.

Le texte, clair et d'une lisibilité facile, est fidèle à la pédagogie des cours par correspondance.

Cet ouvrage est abondamment illustré de dessins en deux couleurs et les parties les plus significatives du texte sont indiquées en rouge.

Ce cours renferme de nombreux exemples; à la fin de chaque chapitre, on trouve un mini-test avec corrigé et, à la fin de chaque module, un examen personnel, toujours avec corrigé. Ces épreuves facultatives vous permettront d'évaluer plus facilement vos progrès.

Enfin, compte tenu du contexte linguistique québécois, nous avons annexé à la fin de chaque module deux lexiques: français-anglais et anglais-français, qui vous permettront d'assimiler plus facilement la terminologie technique.

Sans vouloir imposer cette dernière, soulignons cependant qu'elle est le fruit de la consultation de plusieurs ouvrages spécialisés tels que:

1) le Dictionnaire technique général de Bélisle;
2) le Lexique électrotechnique général de la compagnie Générale Électrique;
3) le Code canadien de l'électricité;
4) le Dictionnaire anglais-français de H. Piraux;
5) le Lexique anglais-français de l'électronique au Québec, par l'Office de la langue française.

Nous espérons que ce volume contribuera à démystifier l'électrotechnique, une science qui a évolué d'une façon exponentielle et révolutionné notre façon de vivre au cours des dernières décennies.

Le Coordonnateur
Carmine D'Amato

Sommaire

8015 COURS AF01
Principes du courant continu

AF0101	Nature de l'électricité	9
AF0102	Entretien préventif	43
AF0103	Piles électriques et accumulateurs	77
AF0104	Les composants électriques et la loi d'OHM	109
AF0105	Montages de circuits élémentaires	139
AF0106	Outillage et vocabulaire de l'électricité	173
AF0107	Magnétisme et électromagnétisme	205
AF0108	Génératrices à courant continu	247
Index alphabétique		297

Nature de l'électricité

AF0101

Nature de l'électricité

Objectifs d'enseignement

L'électricité est devenue l'une de nos plus importantes formes d'énergie. Sans électricité, aucune usine ne pourrait fonctionner, comme elle le fait aujourd'hui. L'industrie, telle que nous la connaissons, n'existerait pas. En tant qu'électricien d'entretien en usine, vous devez connaître la nature de l'électricité, ses composantes ainsi que le pourquoi et le comment de son fonctionnement. Cette première leçon d'électricité couvre ces notions de base.

Lorsque vous aurez complété cette première étape, vous devriez être en mesure:

- *de nommer certains matériaux qui sont conducteurs d'électricité et d'autres qui se comportent comme isolants.*
- *d'expliquer pourquoi il existe des relations entre le voltage, l'intensité du courant et la résistance.*
- *d'utiliser les symboles représentant le voltage, l'intensité du courant et la résistance.*
- *de déterminer laquelle de deux substances non conductrices aura une charge négative lorsque celles-ci sont frottées l'une contre l'autre.*
- *de démontrer que les charges semblables se repoussent et que les charges opposées s'attirent.*
- *d'expliquer pourquoi les paratonnerres et autres dispositifs de protection sont pointus plutôt qu'arrondis.*
- *de prévenir la formation de charges statiques sur les courroies des génératrices.*
- *de choisir le bon diamètre du conducteur devant faire passer un courant déterminé.*

Table des matières

Résistance au passage du courant

Qu'est-ce que l'électricité?	13
Conducteurs, isolants et résistances	14
L'électricité dans un conducteur	14
Comment un isolant oppose une certaine résistance au passage du courant	16
La résistance et la conductivité	17
La conductivité des matériaux électriques	17
Relations entre les grandeurs électriques	18
Exercice de contrôle 1	20

L'électricité statique

Électrisation par frottement	21
Séquence électrique	22
Attraction et répulsion des corps portant une charge électrique	24
Électrisation par influence	25
Charges statiques	26
L'importance de l'électricité statique	27
Exercice de contrôle 2	30

Le courant électrique

L'électricité en mouvement	31
Le courant continu	31
Comparaison entre le courant continu et un système de canalisation d'eau	33
L'effet de la résistance	34
Dimensions et jauge pour fils	35
Exercice de contrôle 3	37

Examen personnel 39

Lexiques 41

Résistance au passage du courant

1 Qu'est-ce que l'électricité?

La première application pratique de l'électricité fut faite en 1837 lorsque Samuel F.B. Morse inventa la télégraphie. Puis ce fut la téléphonie, inventée en 1986 par Alexander Graham Bell; vint la lampe incandescente, inventée par Thomas A. Edison en 1878.

L'électricité, ce n'est pas nouveau pour vous, mais vous êtes-vous déjà demandé ce qu'est l'électricité? Nous vous donnerons plus de détails un peu plus loin mais, pour l'instant, qu'il suffise de mentionner que l'électricité est le déplacement de minuscules particules électriques appelées *électrons*. Ainsi, l'électricité est un flux d'électrons. Nous pouvons comparer le courant électrique à un courant ou un débit d'eau.

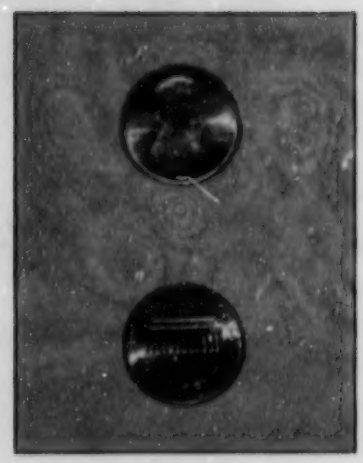
Dès le début des années 1800, un homme de science, George Simon Ohm, effectuait des travaux portant sur le courant électrique. Il découvrit alors que lorsqu'on voulait faire passer un courant électrique dans différents matériaux, certains étaient conducteurs, alors que d'autres ne l'étaient pas. Il constata que des matériaux différents n'opposaient pas la même résistance au passage du courant électrique. L'argent et le cuivre furent appelés conducteurs puisqu'ils permettaient le passage facile de l'électricité. Par contre, le caoutchouc opposa une résistance presque totale à l'électricité, d'où son nom d'isolant. D'autres métaux et matériaux, pouvant faire passer une certaine quantité d'électricité et pouvant agir comme résistances, à savoir résister au flux de courant, furent appelés résistances. L'unité de résistance, l'ohm tire son nom de l'inventeur lui-même. D'ailleurs, un des facteurs de la relation fondamentale de l'électricité, la loi d'Ohm, est la résistance.

Ohm observa que les conducteurs, soit la plupart des métaux, permettaient aux électrons de circuler librement, lorsqu'on appliquait une tension et que le circuit était fermé. Toutefois, les isolants laissaient passer très peu d'électrons, même lorsqu'on appliquait une tension élevée. De bons exemples d'isolants sont le verre, le mica, la porcelaine, le papier et le caoutchouc.

2 Conducteurs, isolants et résistances

Dans son travail quotidien, un électricien doit utiliser trois sortes de matériaux: les conducteurs, les isolants et les résistances[1]. Ce sont les matériaux qui réagissent au passage du courant électrique. Dans les deux prochains paragraphes, votre imagination vous sera d'un précieux secours dans l'étude de l'électricité.

3 L'électricité dans un conducteur



ELECTRON = —

PROTON = +

Les fils qui transportent l'électricité aux lampes dans votre maison, à votre appareil de télévision et aux machines, sont des conducteurs. Ces conducteurs sont ordinairement en cuivre, métal employé dans la fabrication de la monnaie (cents).

Imaginez que vous rapetissiez au point de pouvoir vous introduire à l'intérieur d'un fil de cuivre. Une fois à l'intérieur, vous flottez, comme un astronaute dans l'espace, parmi les atomes de cuivre, qui eux ont des électrons qui tournent et s'entrecroisent à l'intérieur. VOIR FIGURE 1. Leur trajectoire circulaire se nomme une orbite. Chaque atome, avec son noyau et ses électrons en orbite, se compare à un univers ayant un soleil (le noyau) et des planètes (les électrons) gravitant autour de lui. Dans un univers atomique, tel que celui des atomes du cuivre, les électrons sont minuscules, comparativement aux atomes.

Tant et aussi longtemps que les électrons, à l'intérieur d'un atome, sont équilibrés et se déplacent selon une orbite, de façon précise autour de leur soleil, le noyau de l'atome, il n'y a aucun flux d'électrons (courant électrique) dans le fil. Les électrons portent une certaine charge, tandis que les noyaux portent une charge de nom contraire.

1. Parfois on utilise le terme résisteur.

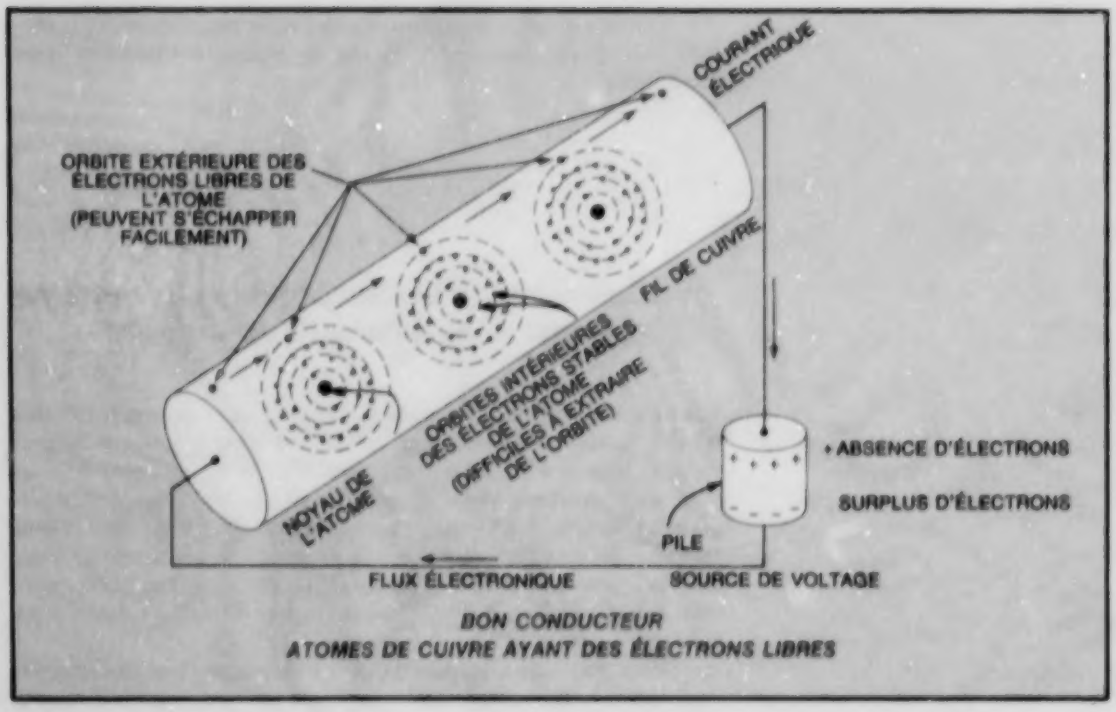
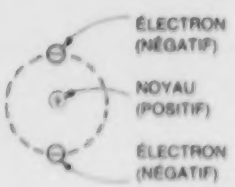


Fig. 1. Un matériau tel que le cuivre conduit l'électricité parce que ses atomes possèdent un électron libre, lequel peut facilement être déplacé d'un atome à un autre. Plus la tension est élevée, plus le flux électronique augmente.

Ces deux sortes de charges sont appelées négative et positive. Les électrons sont négatifs et les noyaux sont positifs. Pensez aux bornes négatives et positives d'une pile.

Une autre minuscule particule électrique est le *proton*. Le proton, qui a une charge positive, fait partie du noyau. Les électrons sont attirés par le noyau. Il serait difficile de capter les électrons d'une orbite *intérieure*, car ils sont fortement attirés par le noyau. Mais si vous examinez bien l'atome, vous verrez des électrons sur l'orbite *extérieure*. Ces derniers ne sont pas fortement attirés par le noyau et il serait facile de faire passer ces *électrons libres* d'un atome à un autre. Comparez l'électron à un vaisseau spatial. Plus le vaisseau spatial se trouve loin de la Terre, moins la gravité a d'action sur lui. Il en est de même pour les électrons et le noyau.

Maintenant, sortez de votre fil. Reliez une pile aux deux extrémités du fil. Les électrons libres, sous l'action de la tension de la pile, passent dans le fil et repoussent les autres électrons libres des orbites extérieures. Le passage des électrons à travers le fil constitue le courant électrique. Vous savez maintenant ce qu'est un bon conducteur. C'est un conducteur qui a beaucoup d'électrons libres ou peu liés, qui peuvent être facilement déplacés hors de leur orbite extérieure lorsqu'on établit une tension.



Est-ce que cette analogie avec notre univers correspond à la réalité? Oui. C'est exactement ce qui se produit à l'intérieur d'un conducteur.

4 Comment un isolant oppose une certaine résistance au passage du courant

Les isolants sont une autre catégorie de matériaux utilisés par l'électricien. Nous avons mentionné précédemment que le verre était un isolant. Imaginez un instant que vous rapetissiez au point de pouvoir vous introduire à l'intérieur d'une plaque de verre. Vous naviguez maintenant dans l'espace, parmi différents univers; ceux-ci sont formés d'électrons qui tournent à de grandes vitesses autour de leurs noyaux. Vous ne voyez cependant aucun électron libre. C'est normal, il n'y en a pas: à l'intérieur d'un isolant, les électrons sont fortement liés dans leur atome.

Vous pouvez maintenant quitter votre plaque de verre. Raccordez la pile aux deux extrémités de la plaque de verre, comme le montre la figure 2. Même sous tension, l'isolant ne laisse passer aucun courant électrique.

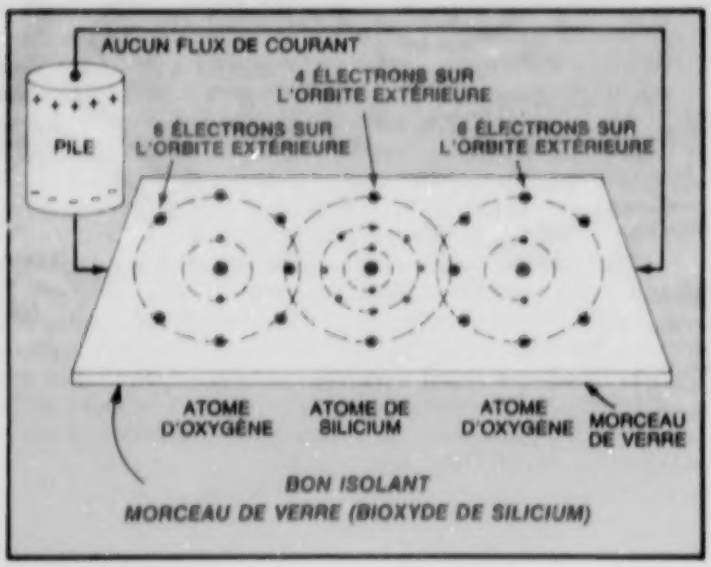


Fig. 2. Dans cette illustration, on voit qu'il y a des orbites qui se recoupent. L'orbite extérieure de l'atome d'oxygène a 6 électrons, alors que celle de l'atome de silicium n'en a que 4. L'orbite extérieure ne peut pas avoir plus que 8 électrons. Les électrons libres de l'orbite extérieure auront d'autant moins de chances de s'échapper, que les électrons qu'on y trouve seront nombreux.

Les électrons sont alors extrêmement stables sur leur orbite. Ceci illustre bien la fonction et l'utilité d'un isolant.

Comme vous l'avez probablement deviné, un isolant est composé d'éléments dont les orbites extérieures sont complètes. Le déplacement d'électrons d'un atome à un autre est assez rare. Les matériaux, tels que l'amiante, le verre, le caoutchouc et le plastique, sont de bons isolants. C'est la raison pour laquelle on les utilise souvent pour recouvrir les fils qui transportent l'électricité.

5 La résistance et la conductivité

Les résistances sont la troisième catégorie de matériaux utilisés par l'électricien. Une résistance ou résisteur possède plus d'électrons libres qu'un isolant, mais pas autant qu'un conducteur. Plus la résistance (qui est mesurée en ohms) augmente, plus le matériau se comporte comme un isolant. Plus la résistance diminue, plus le matériau se comporte comme un conducteur.

Un matériau ou une composante électrique dont la *résistance est élevée*, a une *conductivité*[1] faible. Par contre, un matériau dont la résistance est peu élevée, sera un très bon conducteur. Tous les matériaux possèdent un minimum de résistance, même l'argent et le cuivre, qui sont considérés comme de très bons conducteurs. Dans votre travail comme électricien d'entretien dans une usine, vous aurez à utiliser des matériaux dont la résistance variera de très faible à très élevée; la valeur de la résistance dépend de l'application qui en est faite.

6 La conductivité des matériaux électriques

Faisons maintenant une brève révision. Comme vous le savez, un conducteur est un matériau dans lequel les électrons peuvent être facilement déplacés d'un atome à un autre par une force extérieure. Ces électrons facilement délogeables de leur orbite sont appelés électrons libres. «Libre» signifie facilité de mouvement. Deux des meilleurs conducteurs électriques sont l'argent et le cuivre.

---

1. On utilise indifféremment les termes «CONDUCTIVITÉ» et «CONDUCTANCE» pour indiquer l'inverse de la résistance.

   La conductance s'indique par la lettre G; son unité de mesure est le mho dans le système impérial, et le SIEMENS dans le système SI.

   Ex.: G = 5 mhos (la lettre oméga renversée remplace le mot mho. G = 5 mhos ou G = 5 ℧.)

Leurs structures atomiques sont représentées sur la figure 3. À noter que les deux atomes ont seulement un électron sur l'orbite périphérique. Cet électron pouvant être facilement expulsé, ces deux éléments deviennent donc de bons conducteurs.

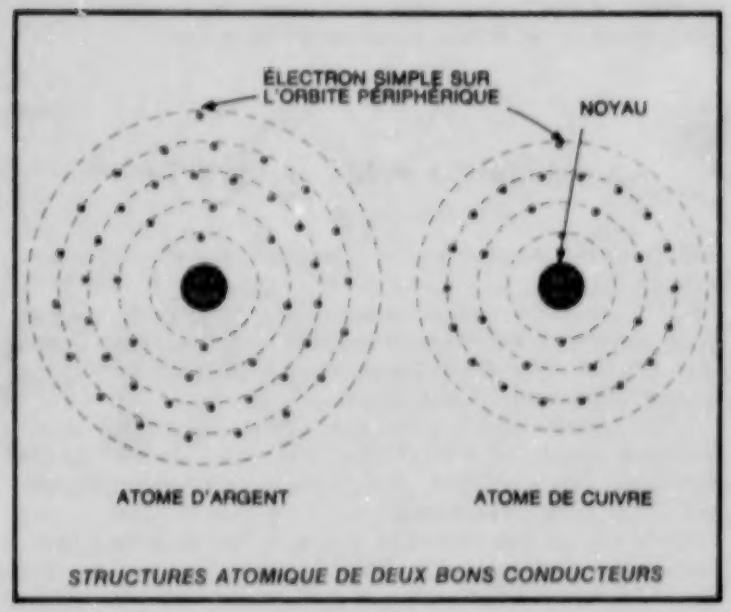


Fig. 3. L'orbite périphérique des bons conducteurs, en plus d'avoir un électron libre, est elle-même relativement éloignée du noyau. En raison de cette distance, la charge positive du noyau exerce donc moins d'attraction sur l'électron. Ceci explique pourquoi l'argent, qui a cinq orbites, a une meilleure conductivité que le cuivre, qui n'en a que quatre. Les protons (P) et les neutrons (N) forment le noyau.

TABLEAU 1

CONDUCTIVITÉ RELATIVE DES MÉTAUX

Élément	Conductivité relative %
Argent	100
Cuivre	98
Or	78
Aluminium	61
Zinc	30
Platine	17
Fer	16
Plomb	15
Fer-blanc	9
Nickel	7
Mercure	1

Le tableau 1 indique la conductivité relative de certains matériaux que vous aurez à utiliser. L'argent, entre autres, est coté à 100%. Toutefois ceci ne veut pas dire qu'il est un conducteur parfait; effectivement, il s'agit d'un très bon conducteur, qui est utilisé comme étalon de mesure pour trouver la conductivité d'autres matériaux. De plus, l'argent est utilisé comme revêtement sur certaines pièces électriques, afin d'avoir une résistance aussi basse que possible.

7 Relations entre les grandeurs électriques

Comme George Ohm, d'autres savants, au début des années 1800, firent des expériences sur l'électricité et donnèrent leurs noms à des unités de mesure. Ces savants sont James Watt, Alessandro Volta et André M. Ampère. En tenant compte des travaux de George Ohm, ils établirent des formules qui constituent la base de presque toute l'électricité.

Une de ces formules appelée LA LOI D'OHM, sera expliquée un peu plus tard. Pour l'instant, nous indiquerons seulement les relations existant entre le courant, le voltage et la résistance. Ces relations s'expriment par des formules arithmétiques très simples. On peut également les énoncer ainsi:

LA LOI D'OHM

Le courant est égal au voltage divisé par la résistance.(1)
La résistance est égale au voltage divisé par le courant.(2)
Le voltage est égal à la résistance multiplié par le courant.(3)

Dans les calculs d'électricité, le courant est représenté par le symbole I (intensité); il est mesuré en ampères, dont le symbole est A, nom qui lui fut donné en l'honneur de André Ampère.

Par exemple, $I = 10$ A ou «le courant est de 10 ampères».

Le Voltage*, nom donné en l'honneur de Alessandro Volta, est représenté par le symbole E (force électromotrice); il est mesuré en *volts*, dont le symbole est V..

Par exemple, $E = 15$ V ou «le voltage est de 15 volts».

La résistance est représentée par le symbole R et elle est mesurée en *ohms*. Les ohms sont quelquefois, représentés par la lettre grecque majuscule oméga Ω.

Par exemple, $R = 42\ \Omega$ ou «la résistance est de 42 ohms».

À l'aide de ces symboles, nous pouvons définir le rapport (1) comme suit:

$$I = \frac{E}{R} \quad ou \quad I = E \div R \qquad (1)$$

c'est-à-dire: «le courant est égal au voltage divisé par la résistance». Pareillement, le rapport (2) peut se définir comme suit:

$$R = \frac{E}{I} \quad ou \quad R = E \div I \qquad (2)$$

c'est-à-dire: «la résistance est égale au voltage divisé par le courant».

Enfin, le rapport (3) peut s'exprimer comme suit:

$$E = IR \quad \text{ou} \quad E = I \times R \qquad (3)$$

c'est-à-dire: «le voltage est égal au courant multiplié par la résistance.»

Dans une autre leçon, vous apprendrez comment utiliser ces rapports. Vous constaterez par exemple, qu'il est facile de calculer la résistance d'un circuit électrique si l'on connaît le voltage utilisé et l'intensité du courant qui y circule. Pour l'instant, il est important de savoir que la loi d'Ohm est la loi fondamentale de l'électricité.

---

* Les termes «voltage» et «tension» sont employés indifféremment dans ce cours.

Exercice de contrôle 1

Faisons maintenant une courte pause pour revoir quelques points importants. Si vos réponses ne correspondent pas aux nôtres, reportez-vous à la section dont il est question.

1. Les matériaux dont les atomes ont des électrons libres sur les orbites périphériques sont de (bons, médiocres) _____ conducteurs électriques.
2. Un courant électrique est un _____ d'électrons à travers un fil électrique.
3. Si nous comparons les dimensions des électrons et des atomes, les électrons sont:

   a) beaucoup plus petits que les atomes
   b) beaucoup plus gros que les atomes
   c) un peu plus petits que les atomes
   d) un peu plus gros que les atomes

4. Lequel des fils suivants a la plus grande conductivité: le cuivre, l'aluminium ou le fer?

Pour les deux questions suivantes, dans l'espace libre à droite et vis-à-vis de chaque groupe de mots, inscrivez la lettre de la phrase qui l'explique le mieux.

5. *a)* est utilisé pour représenter le voltage
   b) est utilisé pour représenter le courant
   c) est utilisé pour représenter la résistance
6. *a)* $\frac{E}{R}$
   b) le nom donné à un matériau qui empêche le passage de l'électricité
   c) $I \times R$
   d) le nom donné à un matériau à travers lequel l'électricité peut circuler librement
   e) $\frac{E}{I}$

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. ___ le symbole Ω
   ___ la lettre *E*
   ___ la lettre *I*
6. ___ le voltage
   ___ l'intensité du courant
   ___ le conducteur
   ___ la résistance
   ___ l'isolant

Réponses à l'exercice 1

1. bons	Section 3	5. *c*	le symbole Ω	Section 7	
2. flux	Section 3	*a*	la lettre *E*	Section 7	
3. *a)* beaucoup plus petits que les atomes	Section 3	*b*	la lettre *I*	Section 7	
		6. *c*	le voltage	Section 7	
		a	intensité du courant	Section 7	
4. le cuivre	Section 6, Tableau 1	*d*	conducteur	Section 7	
		e	résistance	Section 7	
		b	isolant	Section 7	

L'électricité statique

8 Électrisation par frottement

Peut-être vous demandez-vous comment extraire les électrons des atomes, à l'intérieur d'un matériau? Le *frottement* est une de ces méthodes. On pourrait également appliquer un certain voltage, à l'aide d'un accumulateur; cette méthode sera expliquée ultérieurement dans cette leçon. Avez-vous déjà marché sur un tapis ou glissé d'un siège d'automobile et en même temps, touché un objet en métal? Avez-vous ressenti un léger choc ou peut-être même vu une étincelle? Ce phénomène résulte du frottement de vos chaussures ou de vos vêtements contre les électrons du tapis ou du siège de l'auto. Vous avez en fait reçu une charge électrique. Lorsque vous venez en contact avec une surface métallique dont la charge électrique est neutre, les électrons de votre corps passent de votre main sur le métal, redonnant ainsi à votre corps un état de charge neutre. C'est ce qu'on appelle l'électricité statique.

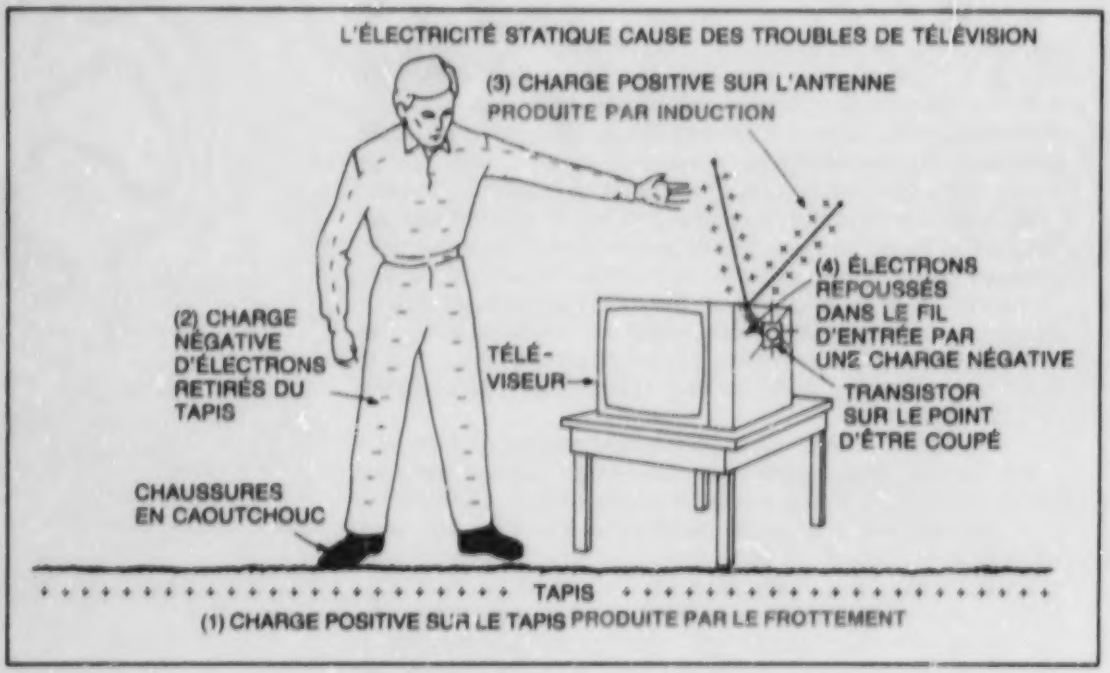
L'ÉLECTRICITÉ STATIQUE CAUSE DES PROBLÈMES

L'électricité statique cause parfois des problèmes. Ainsi, il y a déjà quelque temps, un petit téléviseur faisait son apparition sur le marché, dans lequel était incorporé un *piège* pour l'électricité statique. Bien entendu, ce n'est pas à dessein que le manufacturier avait fabriqué un tel appareil. Voici ce qui aurait pu se produire si vous aviez fait l'acquisition de ce téléviseur. La température est froide, votre maison est bien chauffée et l'air est sec. Vous regardez la télévision tout en marchant sur un épais tapis de laine. Les semelles en caoutchouc de vos chaussures frottent sur le tapis; étant donné que les semelles sont plus dures que le tapis, des électrons extraits par frottement du tapis moelleux adhèrent à vos chaussures. Votre corps commence à emmagasiner une charge négative, c.-à-d. un excédent d'électrons. Ceux-ci en quittant le tapis et en passant sur vous, fournissent une charge positive au tapis à savoir, un manque d'électrons.

Vous voulez maintenant orienter l'antenne de la télévision, comme le montre la figure 4. Lorsque vous touchez le métal, une étincelle jaillit. Vous sursautez légèrement à cause des électrons qui passent de votre corps à l'appareil. L'image sur l'écran disparaît! Cette étincelle d'électricité statique a causé la rupture d'un transistor dans le syntonisateur de l'appareil. Naturellement, le manufacturier fit les modifications nécessaires sur les modèles ultérieurs afin de remédier à ce problème.

Cet effet, décrit plus haut, s'appelle une charge électrique statique ou électricité statique produite par frottement. Ceci se produit surtout lorsque deux substances non conductrices, telles le cuir et une fibre quelconque, ou le caoutchouc et les cheveux, sont frottées l'une contre l'autre. La plus dure des deux substances recueille les électrons provenant de la substance la plus souple. La substance qui emmagasine les électrons reçoit une charge négative, alors que celle qui les perd reçoit une charge positive.

Fig. 4. Dans cette illustration, l'électricité provient de la friction entre les semelles de caoutchouc et le tapis. L'électricité statique qui cause la rupture du transistor, est produite par l'induction entre votre corps et l'antenne. Les charges statiques seront négatives ou positives, selon les matériaux produisant la friction.



9 Séquence électrique

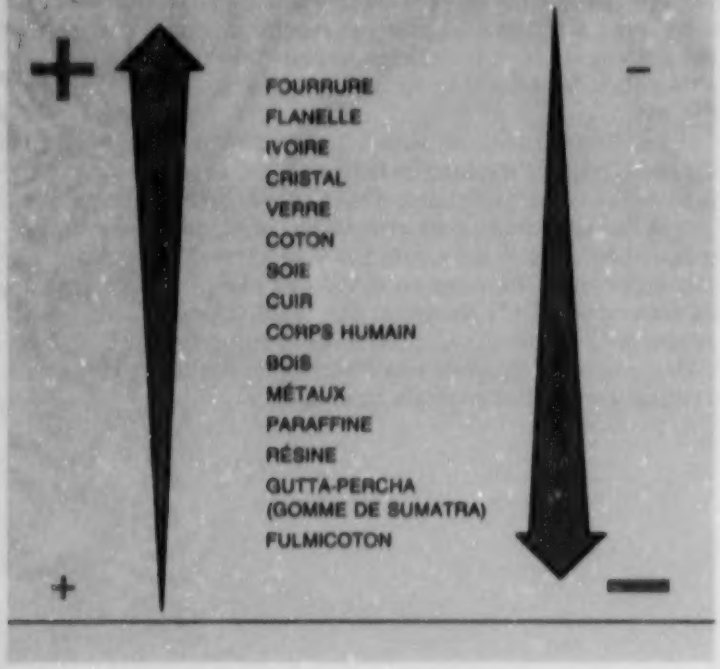
L'électricité statique peut causer de sérieux problèmes dans plusieurs complexes industriels. En effet, elle peut provoquer de minuscules trous ou perforations dans les matériaux utilisés pour la fabrication

de certains produits. L'électricité statique peut également être une cause éventuelle d'explosion ou d'incendie. Par exemple, dans les entrepôts où il y a de la poussière provenant de certaines matières, telles que le charbon, le grain, la moulée, la farine, l'amidon, l'aluminium et le magnésium. Également, là où il existe des vapeurs volatiles, etc., l'électricien d'entretien industriel doit toujours être très vigilant pour parer au danger que constitue l'électricité statique, car une étincelle, quelle que soit sa provenance, peut avoir des conséquences redoutables.

Le tableau 2 donne une liste de matériaux appelée les séquences électriques. La séquence (ou série) est ordonnée comme suit: Chacun des matériaux de cette liste est positif par rapport à ceux qui le suivent et négatif par rapport à tous ceux qui le précèdent. En d'autres termes, chaque matériau reçoit une charge positive lorsqu'il est frotté ou mis en contact avec un ou des matériaux qui le suivent, alors que sa charge sera négative s'il s'agit d'un ou de plusieurs matériaux qui le précèdent. Prenons le verre par exemple: s'il est mis en contact avec de la fourrure, il recevra une charge négative, mais si c'est avec de la soie, la charge sera positive. Il arrive parfois que les charges soient tellement infimes, que celles-ci ne sont pas détectées.

TABLEAU 2

Les séquences électriques



Les matériaux venant en contact entre eux, deviennent instables lorsqu'ils sont plus positifs ou plus négatifs que la normale. Un matériau ayant perdu des électrons aura une charge positive qui pourra attirer tout autre corps ayant des électrons. Donc, un corps chargé positivement attirera un corps chargé négativement, et un corps chargé positivement repoussera tout autre corps chargé positivement. De même, un corps dont la charge est négative, agira de la même façon, c'est-à-dire qu'une charge négative attirera une charge positive et repoussera une autre charge négative.

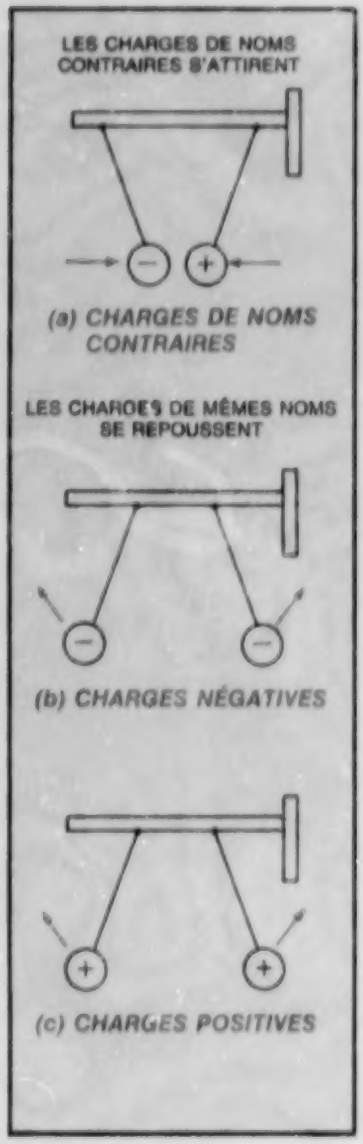


Fig. 5. Afin de mieux comprendre la théorie de l'électricité, vous devez vous souvenir que les charges opposées s'attirent et que les charges semblables se repoussent.

10 Attraction et répulsion des corps portant une charge électrique

La figure 5, (*a*) à (*c*), montre le comportement des corps portant une charge. Supposons que les cercles représentent des balles très légères, qui sont en fait des balles de moelle de sureau et que celles-ci soient suspendues à des fils. En (*a*) une des balles a une charge négative et l'autre une charge positive. Comme le montre la figure, les deux balles sont attirées l'une vers l'autre. Si elles se touchent, les charges seront neutralisées et les balles se sépareront, suspendues à la verticale. En (*b*) les deux balles ont une charge négative et se repoussent. En (*c*), les deux balles ont une charge positive et se repoussent également. D'où le principe suivant: les charges semblables se repoussent alors que les charges contraires ou opposées s'attirent.

La force d'attraction ou de répulsion, entre des corps portant une charge, dépend de plusieurs facteurs. Il y a, entre autres, l'importance de la charge, la distance et la substance entre ces corps. Supposons que nous avons deux groupes de corps, portant une charge et également espacés entre eux. Les deux corps dont la charge est plus importante s'attireront ou se repousseront plus fortement que les deux corps dont la charge est plus faible. Également, en tenant compte que pour deux corps portant une charge déterminée, la force d'attraction ou de répulsion sera d'autant plus forte si les corps sont très près l'un de l'autre plutôt qu'éloignés.

11 Électrisation par influence

Lorsqu'on place un corps, portant une charge, près d'un corps isolé, on induit une charge sur le corps isolé. La figure 6 montre cette expérience. Deux conducteurs, une tige et une sphère, sont fixés à des supports isolants. Cinq paires de balles de sureau sont suspendues à la tige. Lorsque la sphère portant une charge est placée près de la tige, les balles se séparent, comme le montre la figure. Une charge a été induite sur la tige. Les deux balles de chacune des paires électrisées, c.-à-d. 1, 2, 4 et 5, ont des charges de même signe et se repoussent. Lorsque la tige et la sphère sont de nouveau séparées, les balles retournent à leurs positions de départ. Les charges ont disparu.

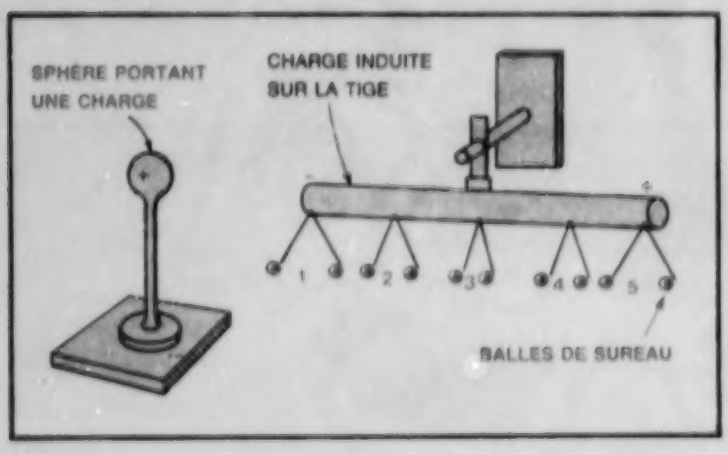


Fig 6. L'importance de la charge induite sur la tige dépend de la distance entre la sphère, portant une charge et la tige elle-même. La paire de balles 3 au centre, aura toujours une charge neutre. La charge existant sur la sphère a été originellement produite par frottement.

Lorsque les deux conducteurs sont l'un près de l'autre, la charge de la sphère attire une charge opposée, à une des extrémités de la tige, près de la sphère et repousse les charges identiques à l'autre extrémité de la tige, soit celle qui est la plus éloignée de la sphère. À noter que l'induction est plus forte aux extrémités de la tige. Les balles des paires (1 et 5) — aux extrémités — s'éloignent plus l'une de l'autre que celles des paires (2 et 4), alors que les balles de la paire (3) au centre, demeurent neutres et ne se séparent pas. Si l'on retire la sphère, les charges aux deux extrémités de la tige se neutralisent et les balles de chaque paire se rejoignent de nouveau. Il est donc possible de séparer ou de rapprocher les balles simplement en approchant ou en éloignant de la tige, un corps portant une charge.

12 Charges statiques

La figure 7 montre comment les pneus d'une automobile en mouvement créent des charges statiques. C'est dans le but d'éviter la formation de telles charges que certains camions, transportant de l'essence, sont munis de chaînes de mise à la terre; celles-ci en touchant l'asphalte libèrent les charges statiques. Également, lorsque vous faites le plein d'essence de votre automobile, il serait préférable d'appuyer d'abord le bec du boyau de remplissage contre le métal du véhicule. Ceci élimine toute différence entre les charges et la possibilité d'une étincelle; le bec est raccordé au métal incorporé aux fibres intérieures du boyau, ce dernier étant finalement relié à une mise à la terre adjacente. Tout tuyau ou tige de métal qui a été enfoui dans le sol d'au moins 61 cm à 91,5 cm (2 pi à 3 pi) ou plus, peut servir de mise à la terre. On peut également utiliser un tuyau d'eau froide en métal. Pour effectuer la mise à la terre d'un conducteur, il suffit de raccorder celui-ci à un tuyau ou autre conducteur assez lourd, relié au dit tuyau de métal enfoncé dans le sol.

Fig. 7. Les pneus d'une automobile en mouvement acquièrent une charge, tel que spécifié dans la séquence électrique. Les pneus induiront une charge dans la carrosserie de la même façon que la balle induit une charge dans la tige (voir fig. 6).

Si deux conducteurs, ayant d'importantes charges opposées, sont placés l'un près de l'autre, l'attraction entre ces charges peut devenir tellement forte qu'une étincelle d'électricité jaillira dans l'espace (diélectrique) entre les deux corps. Le même phénomène se produit sur une plus grande échelle lorsque les éclairs se produisent entre les nuages et la terre. En ce qui concerne la foudre, les charges opposées s'attirent, que ce soit entre deux nuages ou entre un nuage et la terre. Cette attraction est si forte qu'elle fait jaillir une étincelle électrique dans l'espace, neutralisant ainsi une, sinon, les deux charges en présence (voir fig. 8).

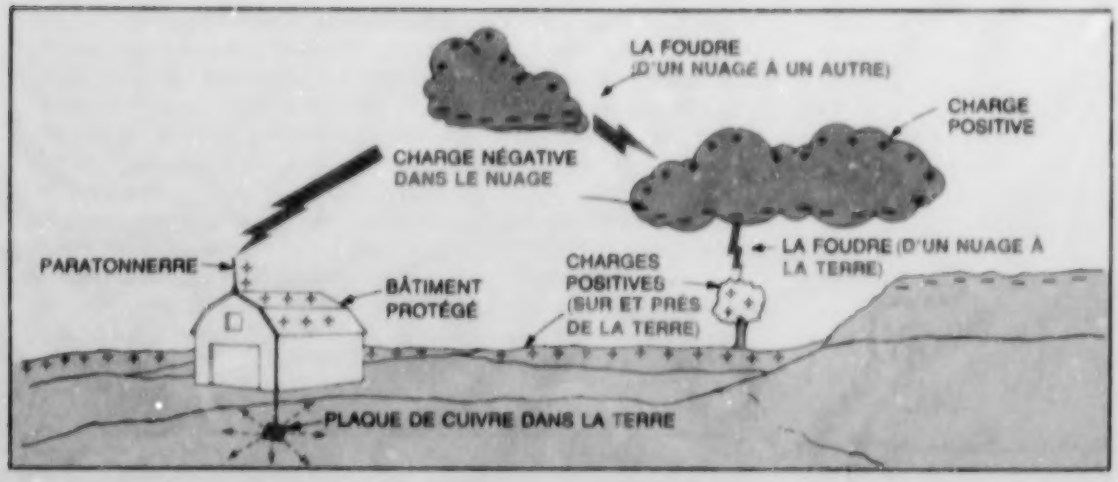


Fig. 8. La foudre est le résultat d'une accumulation excessive de charges statiques qui ont provoqué la rupture de l'air entre les charges. On voit sur la figure que la foudre peut se produire entre deux nuages ou entre un nuage et la terre. Lorsque la foudre se dirige vers la terre, elle prend toujours le chemin le plus court. Les édifices en hauteur et les arbres ont bien des chances d'être les premiers frappés par la foudre.

Lorsque l'électricité passe à travers l'isolant séparant les charges (dans notre cas, c'est l'espace qui se comporte comme un diélectrique), on dit que le diélectrique a été brisé ou perforé. Le diélectrique ne diminue pas l'influence (attraction ou répulsion) d'un corps électrisé sur un autre; il empêche toutefois la décharge d'électricité d'un corps à un autre jusqu'à ce que l'attraction devienne assez forte pour perforer le diélectrique. Supposons qu'il y ait une feuille de papier entre la tige et la sphère (voir fig. 6). Ceci ne diminuera pas l'induction de la charge sur la tige. Par contre, aucune étincelle ne passera entre les deux conducteurs tant et aussi longtemps que l'attraction ne sera pas assez forte pour permettre à l'électricité de perforer le papier.

13 L'importance de l'électricité statique

L'électricité statique peut également se former sur la courroie d'une machine par suite du frottement entre la courroie et les poulies. La charge statique peut devenir assez forte pour causer des commotions électriques à quiconque se tiendrait trop près des courroies ou toucherait les machines actionnées par ces courroies. Dans les élévateurs à grain, où il y a beaucoup de poussières, et les minoteries, l'électricité statique peut créer un danger d'explosion. En effet, même si une génératrice à courroies ou un moteur installé dans un séchoir sont isolés du sol, il se peut qu'une charge suffisamment forte s'accumule sur la machine et perce l'isolant des conducteurs de cette

machine. Pour parer à une telle situation, il suffit d'installer un conducteur avec mise à la terre (tel le collecteur en métal représenté sur la figure 9) à proximité de la courroie. La charge est ainsi neutralisée en passant par ce conducteur jusqu'à la terre. La terre fait alors office de réservoir géant. On obtient de meilleurs résultats si les pointes de métal vont du conducteur vers la courroie puisque l'électricité est plus facilement attirée ou repoussée par les pointes. C'est la raison pour laquelle les paratonnerres et autres conducteurs ont une forme pointue, l'électricité peut s'en échapper plus facilement.

La connaissance de l'électricité statique est tellement importante pour un électricien, que l'association nationale de la protection contre les incendies (qui collabore à la rédaction du code national de l'électricité) développe ce sujet en détail dans ses codes d'incendie.

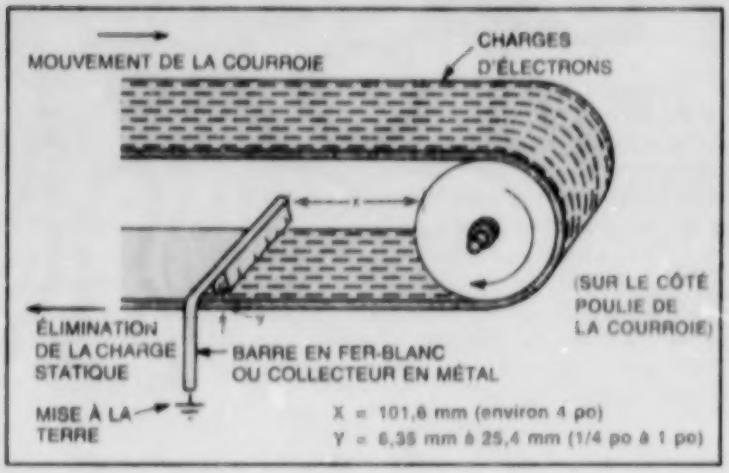


Fig. 9 Les charges statiques qui s'accumulent sur les courroies ou les convoyeurs installés dans des endroits dangereux, peuvent provoquer des explosions ou des incendies. Les personnes se tenant trop près d'une courroie portant une charge, même dans une zone de sécurité, peuvent recevoir sur elles des charges induites. Elles sont alors susceptibles de transmettre ces charges à une zone considérée comme dangereuse.

Ceux-ci sont également publiés sous forme de fascicules ou brochures. En tant qu'électricien, deux de ces codes surtout devraient vous intéresser: le Code n° 77 L'électricité statique et le Code n° 78 La protection contre la foudre[1].

Plusieurs travaux ou situations requièrent une certaine connaissance de l'électricité statique. Les planchers des salles d'opération dans les hôpitaux par exemple, ainsi que d'autres endroits où l'on manipule des liquides inflammables, sont construits avec des matériaux conducteurs. Il en est de même pour certaines parties de complexes industriels ou de centres d'informatique. En effet, les étincelles d'électricité statique peuvent perturber la programmation d'un ordinateur.

1. Les Codes 77 et 78 n'existent qu'aux U.S.A.

Les stations de ravitaillement conçues pour le chargement, le déchargement ou l'entreposage des liquides inflammables sont équipées de dispositifs spéciaux pour éliminer les charges statiques. Également, les rails sur lesquels les wagons-citernes sont chargés ou déchargés, sont éclissés et mis à la terre, afin d'éliminer les charges statiques. Les endroits précités ne sont que quelques exemples illustrant le danger éventuel pouvant résulter d'une charge statique.

L'électricité statique peut également être mise à profit. En effet, elle peut servir à éliminer la poussière et les particules étrangères qui sont en suspension dans l'air. Il suffit de faire passer l'air entre deux plaques de métal soumises à de puissants voltages opposés.

L'électricité statique n'est pas considérée comme étant de l'électricité en mouvement ou courant électrique, ce dont nous parlerons d'ailleurs dans le chapitre suivant.

Exercice de contrôle 2

Faisons maintenant une pause pour revoir quelques points importants. Comparez vos réponses aux nôtres et, si besoin est, faites une révision.

1. Quel est le nom donné à l'électricité produite par frottement?
2. Lorsque deux substances non conductrices, telles que le cuir et les cheveux, sont frottées l'une contre l'autre, la substance qui recueille les électrons perdus par la deuxième substance, acquiert une charge (positive, négative) _____ .
3. Après avoir poli une table en bois à l'aide d'un linge sec en flanelle, quelle sorte de charge la table aura-t-elle acquise?
4. Selon un principe de base, concernant les corps portant une charge, les charges identiques (s'attirent, se repoussent) _____ alors que les charges opposées (s'attirent, se repoussent) _____.
5. La foudre est produite par la rencontre de charges (semblables, opposées) _____ entre un nuage et la terre.
6. L'électricité statique est plus facilement attirée ou repoussée par les surfaces (très pointues, plates) _____.

Dans l'espace libre, devant chaque groupe de mots dans la colonne de droite, inscrire la lettre de la phrase qui l'explique le mieux.

7. *a)* la substance la plus positive dans le tableau des séquences électriques.
   b) la charge acquise par un matériau qui a perdu quelques électrons.
   c) la substance la plus négative dans le tableau des séquences électriques.
   d) le genre de force entre deux particules suspendues et ayant des charges opposées.
   e) un type de collecteur pour neutraliser les charges statiques sur une courroie en mouvement.
   f) un surplus d'électrons.

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
   _____
5. _____
6. _____
7. ___ fulmicoton
   ___ positive
   ___ fourrure
   ___ charge négative
   ___ attraction
   ___ barre en fer blanc avec la mise à la terre

Réponses à l'exercice 2

1. Statique	Section 8	7. *c*	fulmicoton	Tableau 2	
2. Négative	Section 8	*b*	Positive	Section 9	
3. Négative	Tableau 2	*a*	Fourrure	Tableau 2	
4. Repoussent	Section 10	*f*	Charge négative	Section 8	
5. Opposées	Section 12	*d*	Attraction	Section 10	
6. Très pointues	Section 13	*e*	Barre de fer-blanc avec mise à la terre	Section 9	
					Fig. 9

Le courant électrique

14 L'électricité en mouvement

L'électricité que vous utilisez dans la vie de tous les jours est différente de l'électricité statique dont nous venons de parler au chapitre précédent. Il y a présence d'électricité statique (stationnaire) chaque fois qu'une substance a une charge positive ou négative. Le seul mouvement qui se produit en fait, c'est lorsque ces matériaux, portant une charge, sont placés assez près l'un de l'autre pour permettre leur décharge, ce qui les rend électriquement neutres.

Vous apprendrez maintenant comment l'électricité se déplace. Comme on l'a déjà mentionné, l'électricité en mouvement s'appelle le COURANT ÉLECTRIQUE. En comparant les propriétés des fluides et celles de l'électricité, vous constaterez à quel point un réseau électrique et une canalisation d'eau se ressemblent.

15 Le courant continu

Le *courant continu* se définit comme étant un flux d'électrons, se dirigeant dans une direction, habituellement grâce à l'action d'un voltage constant. Le technicien en électronique est plus familier avec l'utilisation du courant continu que l'électricien, étant donné que ce dernier doit surtout travailler avec le courant alternatif. Cependant, vous devez d'abord comprendre le fonctionnement du courant continu avant d'aborder l'étude du courant alternatif. Le courant alternatif vous sera expliqué dans une leçon ultérieure.

L'accumulateur à piles sèches est le meilleur exemple d'une source de tension continue. C'est une *source de tension continue* produite par une réaction chimique entre la pâte et le métal à l'intérieur de l'accumulateur. Il y a une pénurie d'électrons à la borne positive et un surplus de ceux-ci à la borne négative. La quantité d'électrons en trop déterminera la valeur du voltage. Un accumulateur à piles sèches standard a un voltage de 1,5 V (volt).

Si vous prenez deux morceaux de fil de cuivre, connectés à une petite ampoule de lampe de poche et que vous les raccordez aux bornes positive et négative d'une pile sèche, comme le montre la figure 10, voici ce qui se produit: le surplus d'électrons quitte la borne négative de la pile et passe dans le fil. Ces électrons repoussent les électrons libres vers l'avant, à travers le filament placé à l'intérieur de l'ampoule, puis jusqu'au deuxième fil raccordé à la borne positive de la pile.

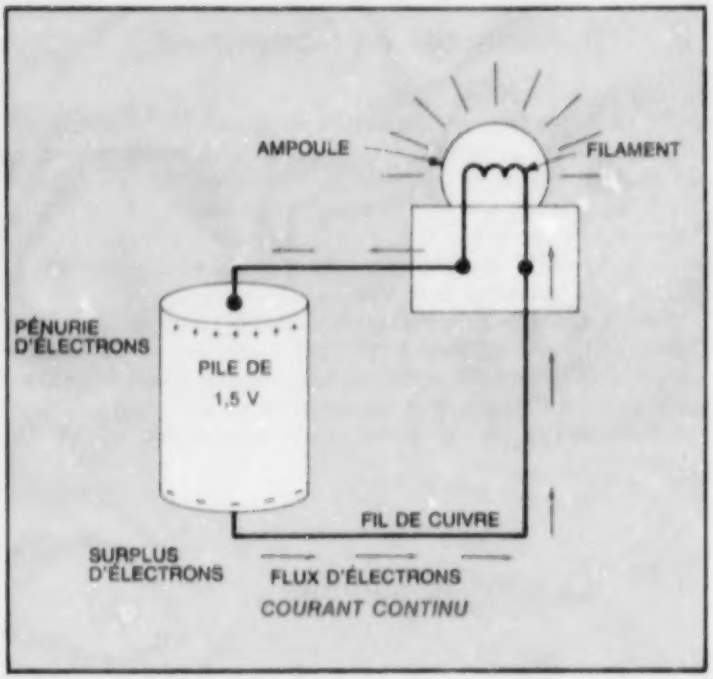


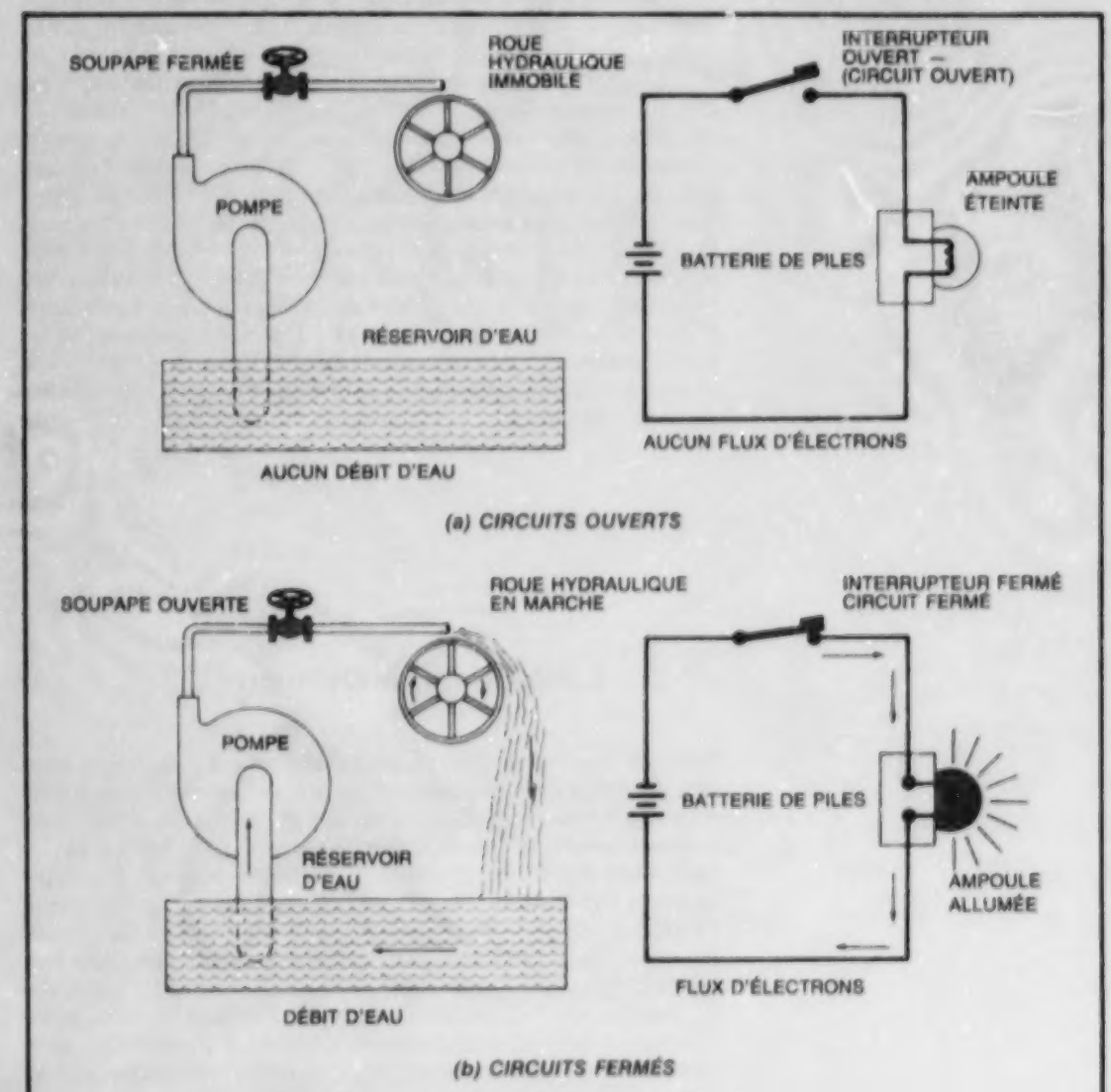
Fig. 10. Un courant continu est un flux d'électrons se déplaçant continuellement dans le même sens. La pile nous fournit l'exemple type d'une source de tension continue. Les électrons se déplacent de la borne négative à travers la charge (l'ampoule) et reviennent à la borne positive de la pile.

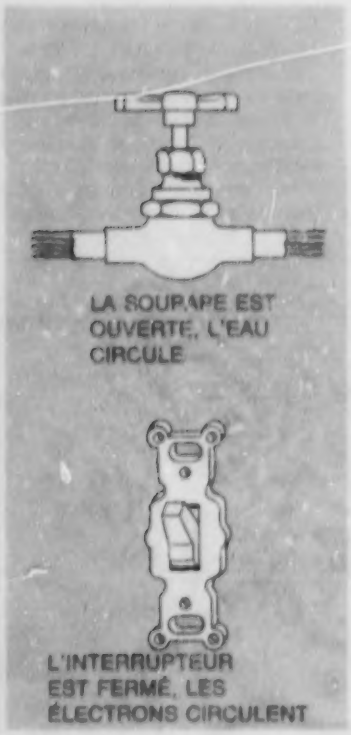
Le filament, réchauffé par le mouvement des électrons, se met à briller. La pile produit plus d'électrons libres à la borne négative et en même temps, ramène tous les électrons libres à la borne positive. Ce processus maintient un voltage constant aux deux bornes de la pile. Le courant continu circule donc régulièrement à travers l'ampoule, permettant ainsi au filament de demeurer chaud et d'éclairer. La pile fonctionne jusqu'à la désintégration complète de ses produits chimiques; à ce moment-là, il faudra la remplacer pour que l'ampoule puisse à nouveau éclairer. C'est aussi simple que cela. En général, le courant continu est un mouvement d'électrons dans le même sens.

16 Comparaison entre le courant continu et un système de canalisation d'eau

La figure 11, (*a*) et (*b*), illustre la différence entre un circuit électrique de base (courant continu) et celui d'une canalisation d'eau. En (*a*), les deux circuits sont ouverts alors qu'en (*b*), ces mêmes circuits sont fermés. En (*a*), la soupape est fermée et l'interrupteur est ouvert, d'où l'impossibilité d'obtenir un débit d'eau ou d'électricité. La roue hydraulique ne fonctionne pas et l'ampoule n'éclaire pas.

Fig. 11. L'eau et l'électricité se comportent pratiquement de la même façon. Le flux d'électricité peut se concevoir beaucoup plus aisément si vous comprenez la comparaison entre un circuit électrique et une canalisation d'eau. Les circuits en (*a*) et (*b*) représentent le courant continu, étant donné que le flux d'électricité se dirige toujours dans le même sens.





Lorsque la soupape en (*b*) est ouverte, l'eau s'écoule dans le tuyau, fait tourner la roue hydraulique et retourne au réservoir. Ceci à condition, bien entendu, que la source de pression (la pompe) soit en marche. De la même façon, si nous fermons l'interrupteur du circuit électrique, le courant circulera dans les fils, allumera l'ampoule, puis retournera la batterie de piles. La batterie qui correspond au réservoir et à la pompe dans une canalisation d'eau, agit comme **source de pression électrique** ou **voltage** ou **tension électrique** ou **force électromotrice**.

Le courant électrique que l'on peut représenter comme étant un débit d'électrons à travers un circuit est également appelé **ampérage**. Souvenez-vous que les charges semblables se repoussent et que les charges opposées s'attirent. Étant donné que les électrons ont des charges négatives, ils sont rejetés par la borne négative et attirés par la borne positive. Donc, le mouvement d'un flux d'électrons s'effectue à partir d'un **potentiel**, ou voltage négatif à travers l'ampoule jusqu'à un potentiel positif. La borne positive de cette pile (fig. 10) est située sur le dessus et la direction du débit d'électrons est dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, tel qu'on l'a indiqué. Si les bornes de la pile étaient inversées, la borne positive serait en bas. La direction du débit d'électrons serait alors dans le sens des aiguilles d'une montre. Dans un cas comme dans l'autre, le flux du courant ne peut se faire que dans une seule direction, en tenant compte du raccordement de la pile. C'est ce qu'on appelle le courant continu, étant donné que le débit du courant continu a lieu dans un seul sens.

17 L'effet de la résistance

Jusqu'ici vous avez appris que lorsqu'une certaine pression est exercée, le courant circule dans un circuit complet, que celui-ci soit électrique ou hydraulique. Outre le voltage et le courant, les deux circuits ont également une résistance. Dans une canalisation d'eau, la rugosité du tuyau et le frottement de l'essieu de la roue hydraulique opposent une résistance au débit du courant d'eau. Dans un circuit électrique, le débit d'électrons est ralenti par la résistance exercée par les conducteurs de l'ampoule électrique. La résistance des conducteurs dépend en grande partie du genre de matériau utilisé et des dimensions des conducteurs. Le tableau 1 à la page 18, vous donne la conductivité relative de quelques matériaux. L'argent et le cuivre

Comme on l'a déjà mentionné, le principe de la résistance électrique est très important pour un électricien. Certains travaux exigent un matériau de faible résistance, tel celui utilisé pour une canalisation électrique. D'autres par contre, exigent un matériau pouvant opposer assez de résistance au flux du courant pour ainsi permettre au matériau de chauffer ou même de briller. Les ampoules et les cuisinières électriques fonctionnent selon ce principe.

18 Dimensions et jauge pour fils

Un électricien doit pouvoir choisir le fil de section appropriée pour différents travaux. La quantité de courant est en fait le principal facteur dans le choix de la grosseur des fils. Le diamètre du fil est en relation avec la quantité de courant utilisée dans un circuit. Si le fil est trop petit, il surchauffera et entraînera une diminution de voltage. Par contre, si l'électricien opte pour un fil plus gros que nécessaire, celui-ci sera plus difficile à manipuler et le coût des travaux sera plus élevé. Étant donné que le fil de cuivre est assez coûteux, son coût augmente en proportion de sa grosseur. La dimension des fils se mesure avec une jauge numérotée. À première vue ceci peut vous paraître compliqué, mais le principe est très simple: plus les numéros de la jauge augmentent, plus le diamètre du fil diminue (voir fig. 12).

Fig. 12. Plus la grosseur du fil augmente, plus le numéro de la jauge diminue. Plus le fil est gros, plus l'intensité du courant admissible augmente.

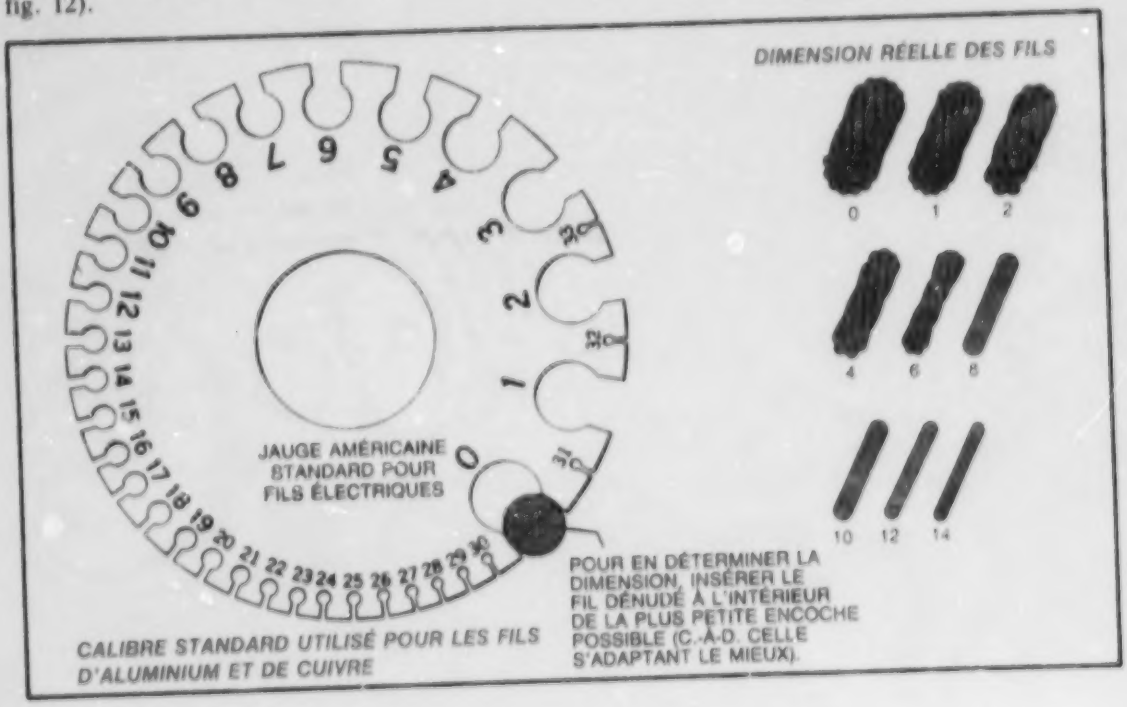


TABLEAU 3

Guide empirique pour la capacité d'ampérage du fil de cuivre

Dimension du fil N° AWG	Intensité de courant admissible A
14	15
12	20
10	30
8	45
6	65
4	85
2	115
1	130
0	150
00	175
000	200

Cette figure montre également un des types de jauges utilisées pour trouver la dimension d'un fil. Insérez simplement le fil dans la rainure qui semble la plus appropriée à la grosseur du fil. La dimension est indiquée à côté de chaque rainure. La capacité d'ampérage c'est la quantité de courant qu'un fil de cuivre, de grosseur déterminée, peut porter sans danger.

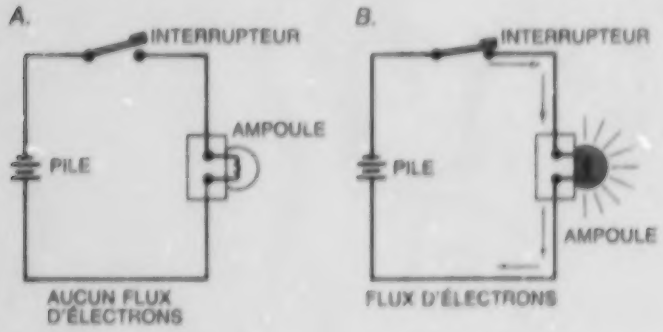
Le tableau 3 donne les intensités de courant admissible, s'appliquant aux fils de cuivre en général. Ce guide toutefois ne concerne que les fils de cuivre normalement utilisés dans l'installation électrique d'une maison fonctionnant avec le 120 V ou toute autre installation électrique, sauf s'il s'agit d'importants complexes industriels. Un fil N° 12 par exemple, peut facilement supporter jusqu'à 20 A.

Lorsqu'il s'agit d'installations où l'aluminium est utilisé, la dimension du fil doit être augmentée de deux numéros. On choisira par exemple, un fil d'aluminium N° 10 pour un courant de 20 A. S'il est question d'un travail électrique ordinaire, la dimension du fil varie de 000 — la plus grande, à 14 — la plus petite. Plusieurs électriciens n'utilisent jamais de fils plus petits que le N° 12. Cette grosseur permet une intensité plus élevée en cas d'expansion future.

Exercice de contrôle 3

Faites maintenant une pause et vérifiez vos connaissances. Comparez vos réponses aux nôtres et, si besoin est, faites une révision.

1. L'électricité en mouvement s'appelle (le courant, le voltage, la résistance) _____ électrique.
2. Comment s'appelle le courant produit par la réaction chimique dans une pile?
3. Si une ampoule est convenablement raccordée aux bornes d'une pile, les électrons quittent la borne (positive, négative) _____ de la pile et circulent dans le fil vers l'ampoule.
4. Lequel des deux circuits électriques suivants est fermé?



5. Les ampoules et les chaufferettes électriques sont fabriquées avec des matériaux dont la _____ est assez forte pour permettre à ces matériaux de chauffer ou de s'illuminer.
6. Selon le tableau 3 donnant les intensités de courant admissible, quelle quantité de courant, en ampères, un fil N° 10 peut-il laisser passer sans danger?

Dans l'espace libre, en avant de chaque groupe de mots à droite, inscrire la lettre de la phrase qui l'explique le mieux.

7. *a)* est le passage d'électrons à travers un circuit
   b) augmente lorsque la dimension du fil diminue
   c) est la quantité de courant qu'un fil peut laisser passer sans danger
   d) circule dans un seul sens dans un circuit.

Vérifiez vos réponses à la page suivante.

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. ___ no de jauge
   ___ l'ampérage
   ___ le courant continu
   ___ la capacité d'ampérage

Réponses à l'exercice 3

1.	Le courant	Section 14	5.	La résistance	Section 17
2.	Continu	Section 15	6.	30 A	Section 18
3.	Négative	Section 15	7.	*b* Le numéro de la jauge	Section 18
4.	B (*N.B.* L'interrupteur est fermé, l'ampoule est allumée et il y a flux d'électrons).	Section 16, fig. 11		*a* l'ampérage	Section 16
				d le courant continu	Section 16, fig. 11
				c l'intensité de courant admissible	Section 18

Examen personnel

Lisez attentivement chacun des énoncés suivants et assurez-vous de bien les comprendre. Chaque énoncé est accompagné de quatre mots, phrases ou symboles, dont un seulement est exact. Marquez d'un X la lettre qui correspond à votre réponse.

1. Le verre, le caoutchouc, la porcelaine et le papier sont des exemples:

   A. de conducteurs
   B. d'isolants
   C. de mises à la terre
   D. de piles

2. Le cuivre et l'argent sont de bons (bonnes):

   A. conducteurs
   B. isolants
   C. résistances
   D. mises à la terre

3. Quel nom donne-t-on à un matériau qui est un meilleur conducteur qu'un isolant, mais pas autant qu'un conducteur?

   A. un élément
   B. un non-conducteur
   C. une résistance
   D. un neutralisant ou collecteur.

4. Dans les calculs électriques, la résistance est souvent représentée par:

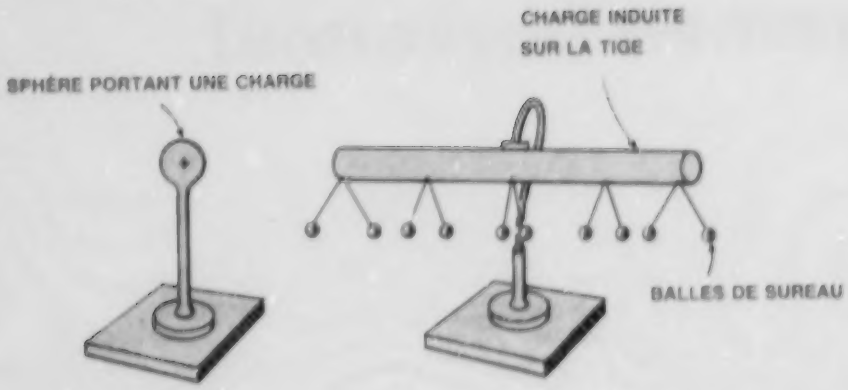
   A. la lettre grecque Ω
   B. la lettre I
   C. la lettre V
   D. la lettre E

5. Comment appelle-t-on l'électricité qui est produite lorsque deux matériaux non conducteurs (tels l'ébonite et les cheveux) sont frottés l'un contre l'autre?

   A. thermique
   B. alternative
   C. chimique
   D. statique

6. Parmi les matériaux suivants, énumérés dans le tableau 2, lequel est le plus négatif?

   A. le cuir
   B. la fourrure
   C. la cire à cacheter
   D. le bois



7. Si l'on place, l'une contre l'autre, une tige et une sphère portant une charge, tel qu'illustré ci-dessus, quelle sera la réaction des balles suspendues près des extrémités de la tige?

   A. elles s'éloignent
   B. elles sont attirées l'une vers l'autre
   C. elles se détachent de la tige
   D. elles déchargent la sphère

8. Si vous vous reportez à la figure 9, page 28, expliquez la raison pour laquelle on a placé un collecteur de métal avec mise à la terre près de la courroie de la génératrice en marche.

   A. afin d'éviter une accumulation de magnétisme
   B. pour changer le courant continu en courant alternatif
   C. pour réduire ou annuler la charge statique
   D. pour permettre aux particules de poussière de s'échapper

9. Quel est le voltage d'une petite pile?

   A. 1,0 V
   B. 1,5 V
   C. 6,0 V
   D. 12,0 V

10. Selon le tableau 3, donnant l'intensité de courant admissible, quelle est la quantité maximale de courant que peut supporter de façon sécuritaire, un fil de cuivre N° 8?

    A. 10 A
    B. 20 A
    C. 45 A
    D. 85 A

Vous trouverez les réponses à la page 288.

Nature de l'électricité

AF0101

(Lexiques)

Français	Anglais
Accumulation	Buildup
Arc électrique	Spark
Arrêt	Off
Calibre	Gage
Charges de même signe	Like charges
Charges de signe contraire	Unlike charges
Conducteur	Conductor
Conductivité	Conductivity
Courant alternatif	Alternating Courrent
Courant continu	Direct Courrent
Diélectrique	Dielectric
Dimension	Size
Électricité statique	Static Electricity
Électron libre	Free Electron
Flux	Flow
Foudre	Lightning
Frottement	Friction
Induction	Induction
Intensité de courant	Amperage
Intensité de courant	Intensity
Isolant	Insulator
Marche	On
Masse	Ground
Mis à la masse	Grounded
Noyau	Nucleus
Orbite extérieure	Outer Orbit
Orbite intérieure	Inner Orbit
Parcours	Path
Pile sèche	Dry Cell Battery
Portée ampèremétrique	Ampacity
Potentiel	Potential
Résistance	Resistor
Tension	Voltage
Transpercé	Ponctured

Anglais	Français
Alternating Courrent	Courant alternatif
Ampacity	Portée ampèremétrique
Amperage	Intensité de courant
Buildup	Accumulation
Conductivity	Conductivité
Conductor	Conducteur
Dielectric	Diélectrique
Direct Courrent	Courant continu
Dry Cell Battery	Pile sèche
Flow	Flux
Free Electron	Électron libre
Friction	Frottement
Gage	Dimension de base
Ground	Masse
Grounded	Mis à la masse
Induction	Induction
Inner Orbit	Orbite intérieure
Insulator	Isolant
Intensity	Intensité de courant
Lightning	Foudre
Like Charges	Charges de même signe
Nucleus	Noyau
Off	Arrêt
On	Marche
Outer Orbit	Orbite extérieure
Parth	Parcours
Ponctured	Transpercé
Potential	Potentiel
Resistor	Résistance
Size	Dimension
Spark	Arc électrique
Static Electricity	Électricité statique
Unlike Charges	Charges de signe contraire
Voltage	Tension

Entretien préventif

AF0102

Le travail de l'électricien d'entretien

Objectifs d'enseignement

Lors de leçons précédentes, vous avez visité une usine typique et vous avez fait connaissance avec plusieurs types d'équipements électriques. Vous avez également vu quels sont les différents types d'électriciens travaillant dans les usines et s'occupant de maintenir cet équipement en bon état de marche. Maintenant vous allez étudier trois des responsabilités se rapportant au travail de l'électricien d'entretien: l'entretien préventif, la recherche des pannes et l'installation. Cette leçon traite de l'entretien préventif étant donné que votre objectif, en tant qu'électricien d'entretien, sera de maintenir l'équipement de production en état de marche.

Lorsque vous aurez terminé cette leçon, vous devriez être en mesure:

- *d'établir un programme d'entretien préventif de base.*
- *d'identifier les travaux d'électricité, à savoir s'il s'agit d'entretien préventif ou de la recherche des pannes.*
- *d'effectuer l'entretien préventif de batteries d'accumulateurs.*
- *de procéder à des vérifications d'entretien préventif sur différentes sortes d'équipement électrique.*
- *d'utiliser vos cinq sens pour apprécier si un équipement électrique fonctionne normalement ou non.*

Table des matières

Programmes d'entretien préventif

Les responsabilités de l'électricien d'entretien 47
Planification du programme d'entretien préventif 48
Vérification de l'entretien préventif 49
Tenue du registre de l'entretien préventif 49
Exercice de contrôle 1 52

Mise à exécution de l'entretien préventif

Usure et détérioration de l'équipement 53
Repérage d'un fonctionnement anormal 54
Types de vérifications d'entretien préventif 55
Mesures préventives 56
Exercice de contrôle 2 59

Programme type d'entretien préventif d'un accumulateur

Programme d'entretien préventif d'un accumulateur 60
Niveau de l'électrolyte 60
Gravité spécifique de l'électrolyte 61
Nettoyage des accumulateurs 61
Règles d'entretien général 63
Exercice de contrôle 3 64

Recherche des pannes et installation

Comparaison entre la recherche des pannes et l'entretien préventif 65
Marche à suivre pour la recherche des pannes 66
Exemple de recherche d'une panne d'un moteur 67
Installation 69
Savoir-faire 71
Exercice de contrôle 4 72

Examen personnel 73

Lexiques 75

Programme d'entretien préventif

1 Les responsabilités de l'électricien d'entretien

Votre travail en tant qu'électricien d'entretien comporte deux responsabilités essentielles: la première est l'entretien préventif ou E.P., en abrégé; la deuxième est la recherche de pannes ou l'entretien correctif ou dépannage. L'entretien préventif consiste à procéder à des vérifications régulières de l'équipement électrique de votre usine. Les vérifications seront effectuées au cours de «tournées» régulières d'entretien préventif (E.P.) dans l'usine. Lors de vos tournées d'entretien préventif, vous circulerez dans l'usine, d'une pièce d'équipement électrique à une autre, en effectuant votre travail d'entretien.

Il faudra vous assurer, en premier lieu, que toutes les composantes électriques fonctionnent normalement et qu'elles continueront de fonctionner normalement. Lors de la tournée d'inspection pour l'entretien préventif, votre tâche la plus importante est de détecter les petits problèmes ou le commencement de problèmes plus sérieux et dès lors, prendre les mesures nécessaires AVANT qu'ils ne *deviennent* de gros problèmes. L'entretien préventif consiste en fait à prévenir tout temps d'arrêt résultant de l'équipement de production. Si l'équipement est en panne trop souvent, l'usine dans son ensemble pourrait être obligée de s'arrêter.

L'entretien préventif exige un effort continu. Un bon programme d'entretien préventif consiste en une PLANIFICATION et une VÉRIFICATION soignées ainsi qu'une TENUE adéquate du registre.

L'entretien correctif, ou la recherche des pannes, est la deuxième responsabilité importante de l'électricien d'entretien. La recherche des pannes est étroitement liée à l'entretien préventif, mais ne doit pas être confondue avec le travail courant de l'entretien préventif.

La recherche des pannes électriques s'effectue APRÈS que la machine ou le système électrique est tombé en panne. Lorsque vous recevez un appel d'un des opérateurs de l'usine, demandant de procéder à une réparation d'urgence, vous devez trouver la cause de la panne en premier lieu. Par la suite, vous effectuez les réparations nécessaires afin de remettre l'équipement électrique en marche.

DÉTECTEZ LES PETITS PROBLÈMES AVANT QU'ILS NE DEVIENNENT IMPORTANTS.

2 Planification du programme d'entretien préventif

Plusieurs raisons requièrent une planification soignée de tous les détails de votre tournée d'inspection pour l'entretien préventif. Vos premiers efforts doivent se porter sur les appareils les plus importants des systèmes électriques. Il s'agit de ceux qui ralentiraient ou arrêteraient le plus facilement la production de l'usine. Vous devez également procéder à une inspection régulière des unités auxiliaires. Une bonne planification du programme d'entretien préventif vous permettra de réduire au minimum les temps d'arrêt de l'équipement.

Vos tournées d'inspection pour l'entretien préventif seront habituellement faites à intervalles réguliers, à savoir quotidiennement, hebdomadairement, mensuellement ou annuellement. Le laps de temps entre les tournées dépend du genre de vérifications que vous devez effectuer et de l'utilisation de l'équipement. Le manufacturier de chaque pièce d'équipement spécifie habituellement quelles vérifications doivent être faites et à quelle fréquence.

Dans votre usine, le programme d'entretien préventif doit prendre en considération l'entretien préventif requis par toutes les machines et l'équipement du système électrique complet. Un calendrier de travail permet de procéder aux tournées d'inspection pour l'entretien préventif d'une façon méthodique et économique de manière à ce que les vérifications soient effectuées au moment opportun.

Le travail d'entretien préventif dans une usine ressemble à celui requis pour une automobile. Certaines vérifications doivent être faites à intervalles réguliers, peu importe que le véhicule soit utilisé fréquemment ou non; d'autres vérifications doivent être effectuées plus souvent si l'automobile doit rouler beaucoup. La même notion s'applique au programme d'entretien préventif, pour l'équipement électrique de votre usine. Les tournées d'inspection pour l'entretien préventif ou calendrier de travail sont établies en fonction des heures normales de travail et de la durée de fonctionnement des machines.

Une bonne partie de l'entretien préventif peut être effectuée lorsque la machinerie est en marche. Toutefois certaines vérifications concernant l'entretien préventif exigeront que la machine soit arrêtée pour un certain temps. Il faut donc procéder à une planification minutieuse de façon à réduire au minimum les pertes de temps. Par conséquent, le calendrier doit prévoir que la plus grande partie de l'entretien préventif aura lieu lorsque l'équipement est arrêté.

PLANIFIEZ SOIGNEUSEMENT L'ENTRETIEN.

3 Vérification de l'entretien préventif

La vérification de l'entretien préventif comprend trois étapes: l'inspection, la comparaison et les mesures préventives (voir fig. 1). Premièrement, vous inspectez l'équipement, en utilisant des instruments de mesure et vos cinq sens: la vue, l'odorat, le goût, l'ouïe et le toucher. Deuxièmement, vous comparez ce que vous mesurez et percevez par rapport aux caractéristiques de l'équipement fonctionnant normalement, tel que spécifié ou enregistré plus tôt. Troisièmement, vous prenez les mesures préventives qui s'imposent de façon à remettre l'équipement en état de marche.

Vous ne pouvez pas inspecter et comparer seulement avec vos cinq sens si vous ne connaissez pas vraiment l'équipement. Un moteur peut vous sembler fonctionner normalement, mais cela ne veut pas dire qu'il n'est pas sur le point de tomber en panne.

Présumons que vous êtes un électricien d'entretien s'apprêtant à vérifier une machine; disons qu'il s'agit d'un moteur actionnant une pompe à l'huile (à l'occasion d'une tournée d'entretien préventif). Vous écoutez le ronronnement du moteur, vous percevez les vibrations à travers les semelles de vos chaussures et vous sentez la légère odeur âcre du vernis isolant. Vous touchez le bâti de métal et vous sentez qu'il est chaud. Vous faites la lecture de la jauge de pression de la pompe à l'huile. Cependant, à moins que vous ne soyez familier avec le ronronnement du moteur, son comportement, c'est-à-dire ses vibrations ainsi que l'odeur qu'il dégage lorsqu'il fonctionne normalement, vous ne pouvez pas dire s'il faut s'attendre à des ennuis mécaniques.

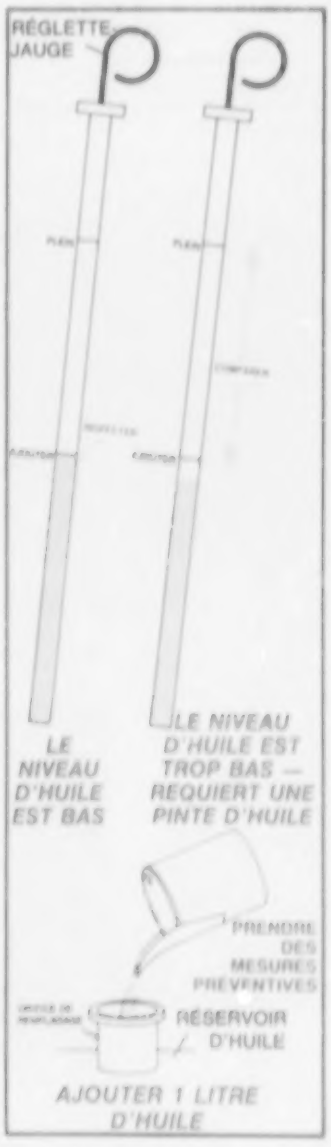
Vous devez connaître l'équipement ainsi que les systèmes utilisés afin de procéder aux vérifications de façon appropriée. En agissant de la sorte, vous pouvez déceler plus tôt les signes avant-coureurs, révélant un problème éventuel. Vous êtes alors en mesure de prendre les dispositions nécessaires de façon à prévenir une avarie et une perte de temps coûteuses pour la production.

Donc si vous voulez que les inspections d'entretien préventif soient utiles, vous devez connaître à fond l'équipement électrique, jusque dans les moindres détails. Vous possédez le savoir-faire requis pour procéder aux tournées d'inspection d'entretien préventif grâce à votre formation et à votre entraînement sur le tas. Votre programme de formation vous apprendra de quelle façon la plupart des moteurs doivent se comporter lorsque tout fonctionne normalement. De plus, vous deviendrez familier avec certains moteurs particuliers lors de votre formation sur place.

4 Tenue du registre de l'entretien préventif

L'inspection d'entretien préventif est plus qu'un examen rapide de l'appareil. Par exemple, vous devrez utiliser vos instruments de

Fig. 1. Les trois étapes dans la vérification d'une pièce d'équipement sont l'inspection, la comparaison et les mesures préventives. La vérification du niveau d'huile, tel que montré ici, doit faire partie d'un programme d'entretien préventif, autant pour votre automobile que pour plusieurs types de machinerie industrielle.

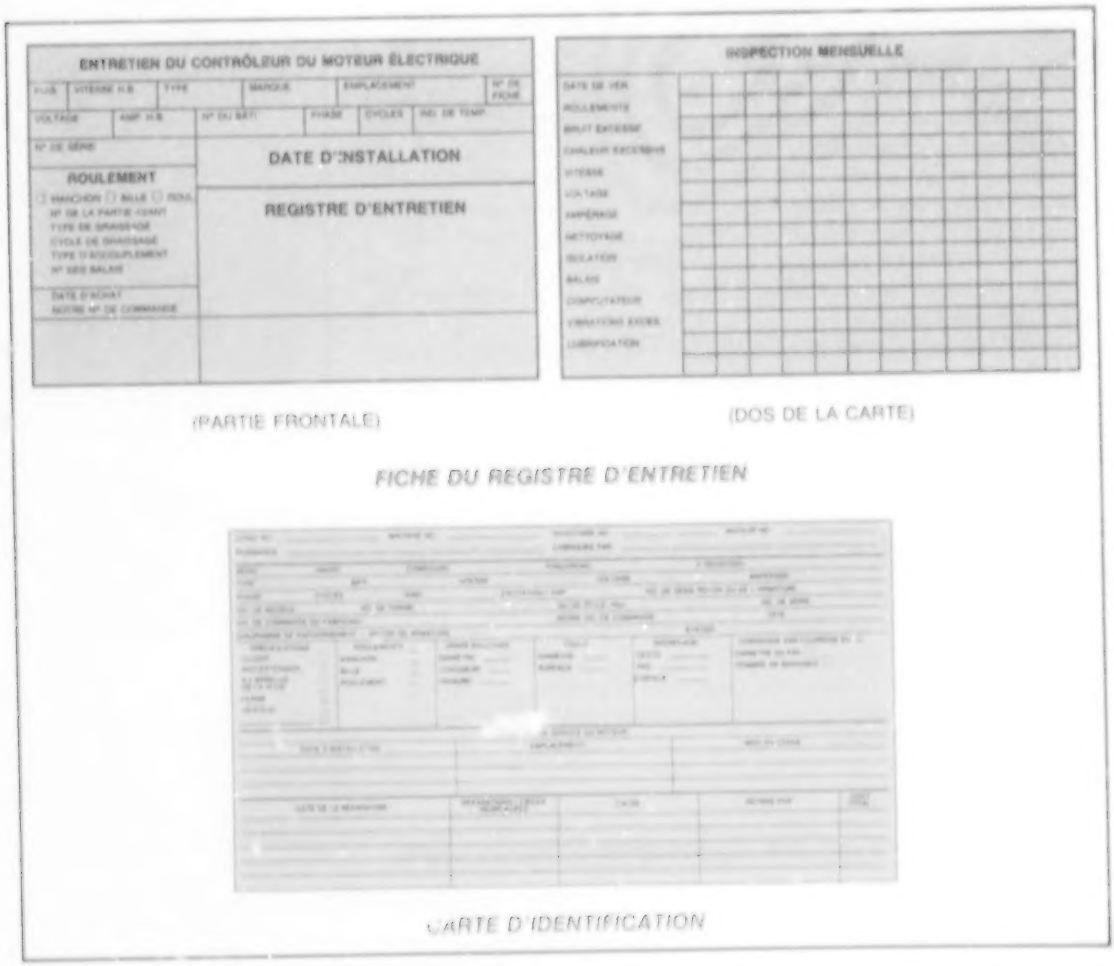


mesure pour vérifier le voltage et l'intensité du courant dans l'appareil électrique. Pour mesurer la vitesse, vous aurez probablement besoin d'un tachymètre. S'il s'agit d'un appareil de secours, vous mesurerez probablement la résistance de l'isolation des pièces du système.

Toutefois, comment saurez-vous si les valeurs mesurées sont exactes? Ici encore, vos études ainsi que votre formation sur place vous aideront. Cependant, avec des centaines d'appareils électriques dans l'usine, vous aurez besoin de registres.

La plupart des ateliers d'entretien conservent très soigneusement les registres d'entretien préventif. Les fiches d'identification (fig. 2) indiquent l'histoire complète des appareils électriques de l'usine. Elles indiquent la date à laquelle chaque appareil a été installé, inspecté et réparé, le nombre d'heures de fonctionnement ainsi que toutes les données électriques et mécaniques de fonctionnement.

Fig. 2. Ces deux fiches jouent un rôle important lorsqu'il s'agit de l'entretien préventif ou correctif. La fiche d'identification peut fournir des indices quant à la cause d'une panne de moteur. La carte pour le relevé de l'entretien préventif peut être sortie périodiquement, selon la fréquence requise par l'entretien préventif.



Une fiche ou registre d'entretien préventif, ou un relevé, indique également toutes les données importantes, mesurées et observées au cours des tournées régulières d'entretien préventif. Tout ce qui peut causer une panne éventuellement doit être noté sur cette fiche ou registre d'entretien préventif. Vous pourrez ainsi comparer les renseignements notés lors de votre prochaine tournée d'entretien préventif à ceux notés précédemment. Après un certain temps, vous serez en mesure de déterminer si tel problème s'est aggravé, ou est demeuré stable ou si la situation s'est améliorée à la suite de mesures correctives prises lors d'une tournée précédente d'entretien préventif.

Exercice de contrôle 1

Faites une courte pause pour revoir quelques points importants. Si vos réponses ne correspondent pas aux nôtres, vous saurez pourquoi en révisant la ou les sections s'y rapportant.

Dans l'espace, devant chaque groupe de mots à droite, inscrivez la lettre de la phrase ci-dessous qui l'explique le plus adéquatement.

1. a) Les sens utilisés pour inspecter l'équipement.
   b) Effectuer des réparations d'urgence.
   c) Les étapes d'un programme d'entretien préventif ou d'un travail de vérification.
   d) Une fiche montrant toutes les données importantes mesurées ou observées au cours des inspections d'une tournée habituelle d'entretien préventif.

2. Quelles sont les responsabilités que comporte le travail d'un électricien d'entretien?

3. Dans la plupart des usines, l'histoire complète d'un appareil électrique est indiquée sur une fiche _____

Vos réponses

1. ____ entretien correctif
   ____ inspection, comparaison et mesures préventives
   ____ une fiche ou registre d'entretien préventif ou un relevé
   ____ la vue, l'ouïe, le toucher, l'odorat et le goût.

2. _____

3. _____

Réponses à l'exercice de contrôle 1

1. *b* entretien correctif Section 1
   c inspection, comparaison et mesures préventives Section 1.3
   d fiche/registre d'entretien préventif ou relevé Section 4
   a la vue, l'ouïe, le toucher, l'odorat et le goût Section 3

2. entretien préventif
   entretien correctif Section 1

3. d'identification Section 4

Mise à exécution de l'entretien préventif

5 Usure et détérioration de l'équipement

Le rendement de votre entretien préventif serait parfait si l'équipement électrique que vous entretenez ne tombait jamais en panne ou ne s'usait pas. Malheureusement, les êtres humains ne sont pas parfaits, et l'équipement non plus.

La chaleur produite par le courant électrique circulant dans l'équipement, ainsi que les extrêmes de températures, l'humidité et les conditions atmosphériques, peuvent corroder et endommager les systèmes électriques. Les métaux s'usent, les isolants se cassent, les gens commettent des erreurs. Tous ces éléments sont des causes de pannes électriques. Il n'y a aucune méthode pour éviter les pannes ou les avaries de certaines pièces d'équipement. L'astuce est d'éviter les pannes inutiles qui pourraient conduire à des pertes de temps imprévues.

Lorsque vous effectuez vos tournées, en quête de troubles possibles, vous voyez l'équipement en marche, dans toutes sortes d'environnements peu favorables. Un moteur peut fonctionner à l'extérieur dans des températures glaciales; un autre peut être à l'intérieur sous un échangeur de chaleur brûlant; un autre peut être installé sous l'eau, à l'intérieur d'un bain chimique explosif ou au milieu de la saleté, de la graisse, du carbone ou de la poussière; il peut également être aspergé d'acide.

Ces environnements peuvent accélérer la détérioration ou les avaries de matériaux. Qu'est-ce qui se détériore? Deux types essentiels de composantes, ou de pièces, sont touchés par l'usure et la détérioration: les pièces mobiles et l'isolation électrique du système électrique. Ce sont les pièces que vous aurez à vérifier le plus fréquemment.

Les pièces mobiles d'un système électrique comprennent les interrupteurs et les pièces rotatives, telles que les roulements à billes, les engrenages, les pignons et les accouplements. Toutes les pièces mobiles s'usent constamment. L'usure peut être minime, mais les frottements et les vibrations, même légers, à la longue causent des pannes.

Les pièces fixes d'un système électrique ne s'usent pas aussi rapidement que les pièces mobiles et par conséquent, ne donnent pas autant de problèmes. Toutefois, même les pièces non mobiles s'useront dans des conditions défavorables. Prenons comme exemple un moteur, monté sur une machine qui vibre continuellement. La vibration peut provoquer l'usure des éléments fixes. Une vibration constante peut, éventuellement, causer un dommage, par suite de la fatigue du métal, aux conducteurs de cuivre reliés à l'appareil. De plus, l'isolant des conducteurs peut subir une usure graduelle s'il est constamment en contact avec une pièce qui vibre.

Lorsque vous décelez un trouble, vous devez en éliminer la source avant que le problème ne s'aggrave. Votre compétence, comme électricien d'entretien, sera en partie jugée d'après vos aptitudes à pouvoir déceler une défectuosité quelconque, laquelle si elle n'est pas réparée, pourrait provoquer une panne. Cette habileté à déceler les défectuosités ou les pannes éventuelles est mi-instinct ou seconde nature et mi-savoir-faire. Si l'équipement dont vous avez la responsabilité n'est que très rarement en panne, vous faites alors un bon travail.

6 Repérage d'un fonctionnement anormal

Si l'électricien d'entretien de l'usine a un programme d'entretien soigneusement planifié, les pannes éventuelles peuvent être repérées. Toutefois, pour être en mesure de déceler un problème possible, vous devez pouvoir dire à quel moment l'équipement fonctionne normalement et quand ce n'est pas le cas. Vous devez être au courant même du plus petit changement par rapport à la norme (fonctionnement normal).

Très souvent, au cours d'une tournée d'entretien préventif, vous découvrirez certains changements par rapport à la norme, à l'aide de vos instruments de vérification. Cependant, c'est vous qui êtes la meilleure pièce d'équipement d'essai. Vos cinq sens — la vue, l'ouïe, l'odorat, le goût et le toucher — sont votre répertoire. Combien de fois avez-vous eu le pressentiment que quelque chose allait mal? La plupart de ces pressentiments que quelque chose va mal sont une réaction du cerveau se rapportant à ce que vous voyez, percevez, entendez, sentez ou goûtez.

Les sons d'un équipement électrique peuvent indiquer une défectuosité. Le cliquetis d'un relais, le bruit de commutation d'un interrupteur ou le cognement/grincement d'un moteur peuvent être des signes annonçant une panne éventuelle.

De plus, les machines dégagent certaines odeurs. Si l'odeur d'une machine change, ceci peut être l'indication d'une défectuosité. Une machine qui fonctionne normalement peut procurer une certaine sensation au toucher. Peut-être vibre-t-elle ou remue-t-elle d'une certaine façon, le métal dégage peut-être une certaine chaleur.

Si la main n'éprouve pas la bonne sensation, c'est qu'il y a probablement une défectuosité dans la machine.

Lorsqu'il s'agit de circuits électriques, un grand nombre de problèmes ne peuvent être détectés seulement avec les sens. Vous ne pouvez vérifier, par exemple, à l'aide de vos sens seulement, le voltage, le courant, la résistance et les autres grandeurs électriques. Vous aurez besoin d'instruments de vérification tel le compteur type serre-fils représenté sur la **figure 3**. Les instruments de vérification des électriciens d'entretien sont décrits dans des leçons ultérieures.

Certains instruments de vérification sont simples. Par exemple, vous pouvez utiliser une sonnette ou un circuit de lampe pour vérifier si un circuit est ouvert ou fermé. Par contre, certains instruments électroniques ou électriques de vérification peuvent être très complexes. Vous pouvez même vous servir d'un ordinateur pour obtenir la vérification constante d'un processus de fonctionnement et être informés d'une défectuosité éventuelle.

Lorsque vous connaissez le fonctionnement normal d'une machine, vous pouvez dire à quel moment celle-ci ne fonctionne pas normalement.

Voici quelques signes de défectuosités: un produit non satisfaisant, de piètre qualité, beaucoup de vibrations, une hésitation avant de passer à l'étape suivante.

Souvenez-vous: la partie la plus importante du travail d'un électricien d'entretien est de découvrir toute défectuosité ou problème éventuel. Il est fréquent que vous «sentiez» un fonctionnement anormal. Si vous le décelez assez tôt, vous pouvez prévenir des pertes de temps coûteuses et imprévues.

Fig. 3. Cet instrument type «serre-fils» peut mesurer les grandeurs électriques du voltage et du courant. Il peut également être utilisé pour détecter les défauts de contact ou une perte dans un circuit électrique.

Courtoisie des «Instruments AMPROBE»

7 Types de vérifications d'entretien préventif

Il existe deux méthodes de base pour inspecter et vérifier l'équipement: l'utilisation de vos cinq sens et l'utilisation d'instruments de vérification. Nous avons mentionné plusieurs types de vérifications; étudions maintenant de plus près certains d'entre eux. Il y a d'abord les vérifications générales et spéciales. Les vérifications générales s'appliquent à tout l'équipement électrique ou du moins à tout ce qui se rapporte au même type d'équipement électrique. Les vérifications spéciales s'appliquent seulement à certains types d'équipements électriques.

Les vérifications d'entretien préventif requises pour un moteur sont énumérées au dos de la fiche/registre représentée à la **figure 2**. Elles sont à nouveau indiquées ci-après avec la méthode habituelle pour procéder à cette vérification. Si l'entretien préventif est effectué seulement sur les moteurs à l'usine, toutes les vérifications énumérées sont des vérifications générales, étant donné qu'elles s'appliquent à tous les moteurs. Cependant, si l'entretien préventif est effectué sur tout l'équipement électrique, incluant les chaufferet-

Vérifications d'entretien	Comment vérifier	
Alignement	Regarder	les sens
Lubrification	Regarder	
Nettoyage	Regarder	
Isolation	Regarder	
Balais	Regarder	
Commutateurs (interrupteurs)	Regarder	
Roulements	Écouter	
Bruit excessif	Écouter	
Vibration excessive	Toucher	
Chaleur excessive	Toucher	
Vitesse	Mesurer	instruments de vérification
Voltage	Mesurer	
Ampérage	Mesurer	

tes, les accumulateurs, les lampes, etc., plusieurs de ces vérifications, telles qu'elles sont énumérées, sont des vérifications spéciales, s'appliquant aux moteurs seulement. Naturellement, il existe d'autres vérifications spéciales pour d'autres types d'équipements. La méthode indiquée pour chaque vérification n'est pas la seule façon de procéder à la vérification. Lorsque la méthode préconisée suggère que vous vous serviez de vos sens, vous pouvez également utiliser des instruments de mesure pour obtenir une vérification plus précise.

Mesures préventives

Que faites-vous une fois que vous avez soigneusement vérifié l'équipement et découvert qu'il n'est pas conforme aux spécifications du fonctionnement normal? Vous prenez des mesures préventives à savoir les dispositions nécessaires afin que l'équipement ne se détériore pas davantage ou ne tombe carrément en panne. Toute mesure préventive se trouve dans une des quatre catégories de base suivantes: le nettoyage, le réapprovisionnement, les réglages et la réparation.

On ne peut qu'insister fortement sur l'importance du **nettoyage** autour de l'équipement. Pourquoi? Parce que la poussière, la graisse et tous les genres de matériaux au rebut que l'on trouve dans une usine peuvent être la cause d'une panne mécanique ou électrique de tout l'équipement.

Par réapprovisionnement, nous entendons remplir ou ramener les liquides utilisés dans l'équipement, à leurs niveaux normaux. C'est le cas quand vous lubrifiez l'équipement, lorsque vous ajoutez

de l'huile dans le réservoir d'huile ou de l'eau dans une batterie afin de maintenir l'électrolyte au bon niveau.

Les réglages mentionnés dans les mesures préventives peuvent être mécaniques ou électriques. La **figure 4** illustre plusieurs conditions exigeant un réglage mécanique.

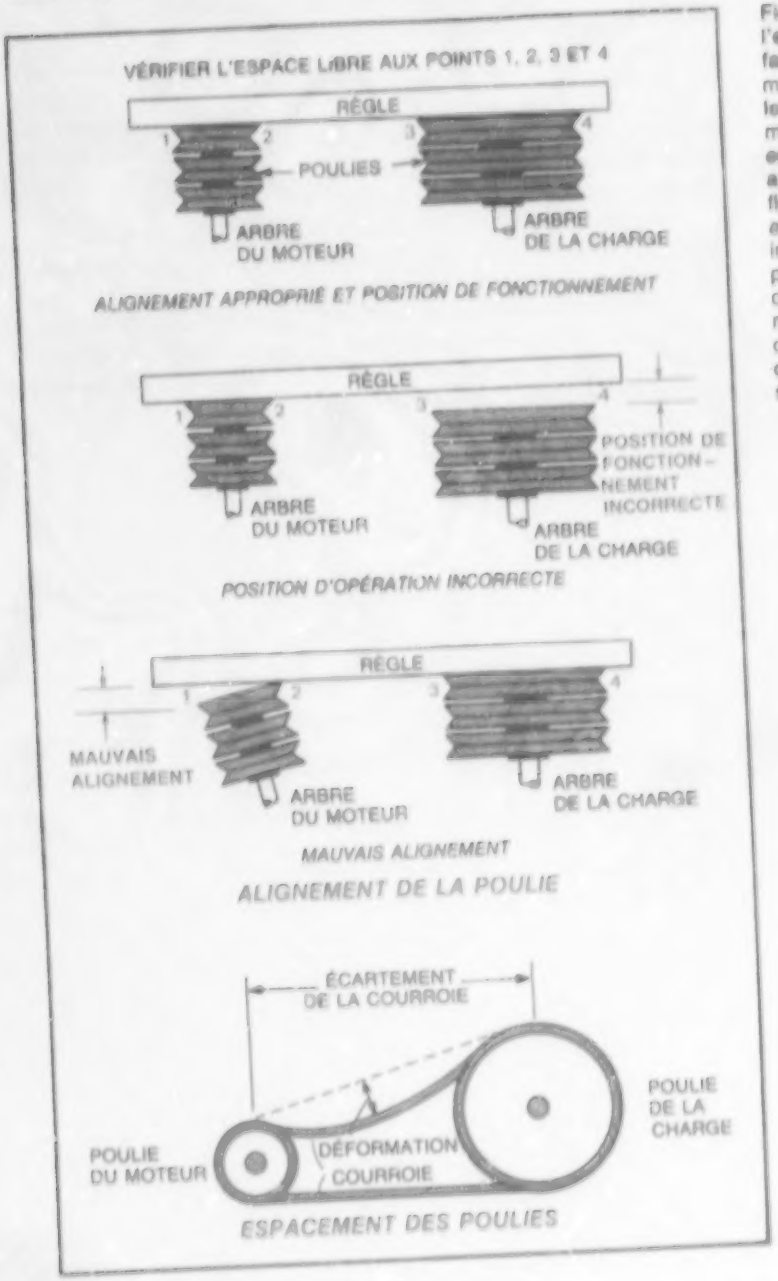
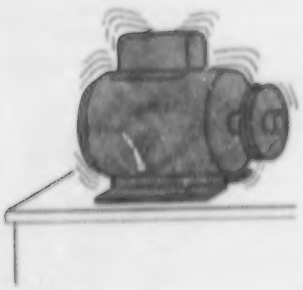


Fig. 4. L'alignement et l'espacement des poulies sont en fait des réglages mécaniques, mais peuvent facilement affecter le fonctionnement électrique d'un moteur. La courroie illustrée ici est trop lâche; il ne devrait y avoir aucune déformation ou fléchissement. La tension appropriée de la courroie est indiquée par le trait en pointillé. Si par exemple, la tension de la courroie est trop grande, le moteur fonctionnera sous une charge plus lourde, exigera plus de courant et pourra peut-être surchauffer.

L'alignement incorrect d'un accouplement, le mauvais positionnement et le fléchissement de la courroie exigent un réglage de la position de montage du moteur. Plusieurs types de réglages électriques sont habituellement nécessaires pour maintenir en bon ordre de fonctionnement les circuits de contrôle du moteur et d'autres types de circuits. Par exemple: régler l'intensité du courant de charge fourni par un chargeur à une batterie d'accumulateurs.

La réparation implique souvent le remplacement d'une pièce de l'équipement ou de l'unité au complet. Ceci signifie habituellement qu'on a prévu la mise hors service de l'appareil. Un moteur vibrant de façon excessive, par exemple, doit être remplacé par un moteur de secours lorsque ce dernier n'est pas utilisé. Le moteur défectueux peut ainsi être réparé en atelier à n'importe quel moment.

Une des nombreuses mesures préventives peut s'avérer nécessaire pour améliorer un état de fonctionnement quelconque. Par exemple, pour réparer un moteur bruyant, vous devez procéder au réapprovisionnement en lubrifiant, ou remplacer une pièce défectueuse. Lorsque vous aurez répondu à l'exercice de contrôle, nous examinerons ensemble un programme d'entretien préventif type concernant les accumulateurs utilisés dans une usine.



Remplacer un moteur qui vibre par un moteur de secours durant les heures normales de fermeture de l'usine.

Exercice de contrôle 2

C'est le moment de faire une pause et de voir si vous avez bien appris votre leçon. Comparer vos réponses avec celles donnée ; ci-dessous et faites une révision si nécessaire.

1. L'isolant des conducteurs peut s'user graduellement s'il est en contact avec une pièce _____ (vibrante, non isolée).

2. Nos (sens, instruments de vérificatic ı) _____ nous fournissent souvent le premier indice que quelque chose ne va pas avec l'équipement.

3. Lequel des points suivants ne peut pas être vérifié avec les sens?:

   A. bruit excessif
   B. voltage
   C. lubrification
   D. chaleur excessive

4. Une des quatre mesures préventives essentielles concernant l'équipement électrique est le nettoyage. Nommez les trois autres.

   Dans l'espace libre, devant chaque groupe de mots à droite, inscrire la lettre de la phrase ci-dessous qui l'explique le plus adéquatement.

5. *a)* Les pièces mobiles d'un système électrique.
   b) Découvrir une défectuosité éventuelle assez tôt de façon à éviter toute perte de temps imprévue.
   c) Les relais dont le cliquetis n'est pas adéquat.
   d) Ramener les liquides utilisés à des niveaux normaux.

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
   _____
   _____
5. ___ signal d'une défectuosité
   ___ interrupteurs, roulements à billes, engrenages, pignons et accouplements,
   ___ réapprovisionnement
   ___ la partie la plus importante du travail d'un électricien d'entretien

Réponses à l'exercice 2

1. Vibrante — Section 5
2. les sens — Section 6
3. *B* le voltage — Section 7
4. le réapprovisionnement — Section 8
   les réglages — Section 8
   les réparations — Section 8
5. ___ signal d'une défectuosité — Section 6
   a les interrupteurs, les roulements à billes, les engrenages, les pignons et les accouplements — Section 6
   d le réapprovisionnement — Section 8
   b la partie la plus importante du travail d'un électricien d'entretien — Section 6

Programme type d'entretien préventif d'un accumulateur

9 Programme d'entretien préventif d'un accumulateur

Regardons maintenant ce que seraient vos fonctions dans un programme type d'entretien préventif d'un accumulateur. À peu près tout le monde est familier avec l'accumulateur utilisé dans une automobile. En lisant les sections qui suivent, essayer de relever les étapes et les vérifications d'un programme d'entretien préventif de base, tels qu'on les a énoncés plus haut dans cette leçon.

Les accumulateurs sont sûrs et ont une longue durée de vie utile. Toutefois, pour une vie encore plus longue, une grande fiabilité et un maximum de rendement, ceux-ci nécessitent un programme d'entretien préventif efficace. Le programme, naturellement, sera en fonction de l'utilisation de l'accumulateur. Il doit comporter des calendriers de travaux (planification), des inspections (vérifications) et des formules d'enregistrement (fiche/registre). Chaque cellule de l'accumulateur doit avoir un numéro. Ceci facilite le repérage de la cellule qui doit être vérifiée et permet de maintenir les fiches/registres à jour.

Lorsqu'un nouvel accumulateur est mis en service, le voltage et la densité de chaque cellule doivent être mesurés et inscrits pour références futures.

Fig. 5. Si l'eau potable est approuvée et doit être utilisée avec cet appareil de remplissage automatique, laisser couler l'eau pendant plusieurs minutes avant de remplir les éléments. Ceci permettra d'enlever les particules étrangères, comme la rouille, provenant des tuyaux. Des gants de caoutchouc (que ce travailleur a oublié de mettre) devraient néanmoins être portés lorsque vous travaillez sur des accumulateurs.

Avec la permission de Exide Power Systems Division, ESB Inc.

10 Niveau de l'électrolyte

L'électrolyte (le liquide de l'accumulateur) doit être maintenu au niveau recommandé par le fabricant de l'accumulateur. Le niveau doit être vérifié régulièrement et de l'eau doit être ajoutée lorsque le niveau tombe au-dessous du couvercle de barbottage de l'accumulateur ou du dessus des plaques. La fréquence de remplissage des accumulateurs dépend de la sorte d'accumulateur et de son utilisation. Par exemple: les accumulateurs des camions industriels exigent un remplissage par semaine. N'utilisez que de l'eau distillée ou de l'eau provenant d'une source locale approuvée. Vous pouvez utiliser un appareil de remplissage automatique, tel qu'il est illustré sur la **figure 5**.

Prendre soin de ne pas trop remplir les éléments. Si ceux-ci débordent, la perte d'électrolyte diminuera leur densité. Par contre, si de l'électrolyte tombe sur le couvercle des éléments, celui-ci ne séchera pas ou ne s'évaporera pas. Ceci peut donc causer des contacts à la masse et corroder des pièces de métal.

Lorsque vous ajoutez de l'eau dans un accumulateur, inscrivez la quantité ajoutée dans chaque élément ainsi que la date où celle-ci fut ajoutée. Si les éléments requièrent une quantité d'eau excessive, ceci signifie que l'accumulateur est surchargé.

11 Gravité spécifique de l'électrolyte

Vous devez vérifier régulièrement la densité de l'électrolyte afin de vous assurer que l'accumulateur est adéquatement chargé. La densité est mesurée à l'aide d'un **hydromètre** ou d'une seringue d'hydromètre, tel qu'illustré sur la **figure 6**. Les éléments de la source d'énergie des camions industriels doivent être vérifiés tous les jours et chargés si nécessaire. Après chaque charge, vérifier la densité des éléments et inscrire les lectures obtenues. À tous les trois mois environ, mesurer la **densité**, la **température** et le voltage de chacun des éléments de l'accumulateur d'un camion industriel. Il est possible par la suite de faire une comparaison directe avec les lectures obtenues précédemment; s'il existe des différences importantes, ceci peut indiquer des défectuosités éventuelles.

Lorsque vous prenez des mesures pour faire des comparaisons, souvenez-vous que le niveau de l'électrolyte et la température affectent les mesures de la densité. De plus, si de l'eau a été ajoutée récemment et que celle-ci n'a pas été très bien mélangée après la charge, les lectures ne seront pas précises. Une légère diminution de la densité d'une pleine charge de tous les éléments peut survenir sur une longue période de temps, disons un an, par suite d'une petite perte d'acide par les bouchons de ventilation.

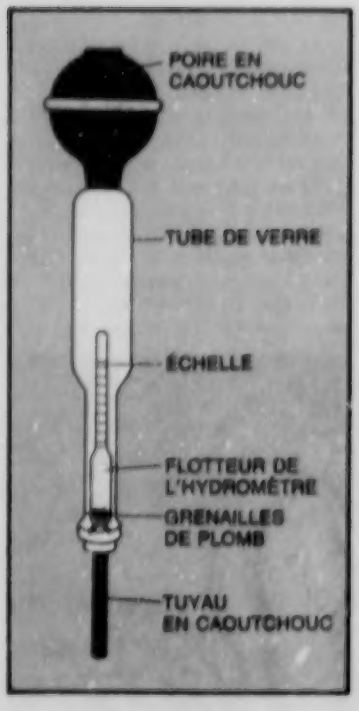


Fig. 6. Lorsqu'on utilise une seringue d'hydromètre, prendre soin d'aspirer assez d'électrolyte dans le tube de façon à ce que l'hydromètre flotte librement. On lit la densité à l'endroit où la surface du liquide rencontre une des graduations de l'échelle.

12 Nettoyage des accumulateurs

Le dessus d'un accumulateur peut devenir humide si de l'électrolyte y a été projeté ou renversé. Il s'agit alors d'appliquer une solution

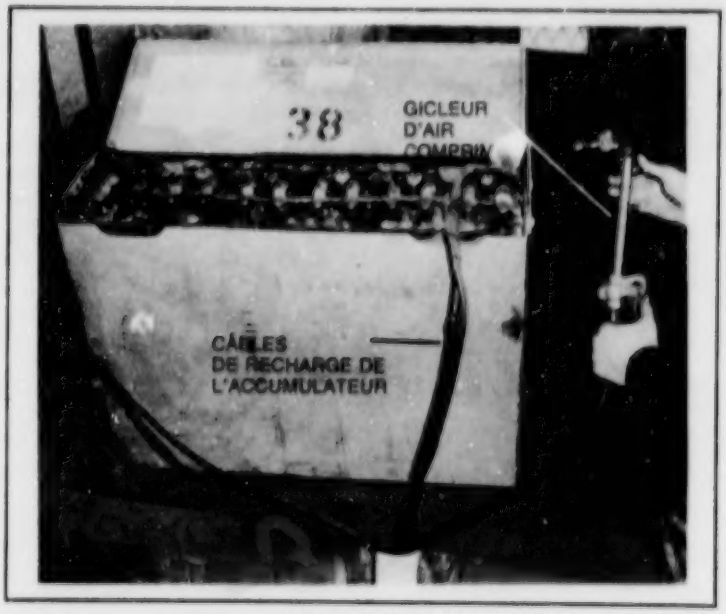
neutralisante composée de bicarbonate de soude et d'eau tiède. Cette solution peut être appliquée tel que le montre la **figure 7** ou autrement, à l'aide d'un pinceau. Lorsque la solution vient en contact avec l'électrolyte, ceci produit de l'écume. Lorsque cette écume disparaît, rincer l'accumulateur avec de l'eau froide claire.

Les contacts ainsi que le dessus de l'accumulateur, sans oublier la cuvette de celui-ci, s'il y a lieu, doivent être maintenus secs et propres. La formation de poussière, de saleté, d'humidité et même l'électrolyte renversé peuvent créer des mises à la terre. Le courant peut circuler le long de telles voies, réduisant ainsi la capacité de l'accumulateur. Une station de nettoyage, comme celle illustrée sur la **figure 8**, est très pratique. Les accumulateurs peuvent être nettoyés soit à l'aide d'air comprimé à basse pression ou avec de l'eau froide à l'aide d'un boyau dont la pression est modérée. On peut également les essuyer avec un linge propre. On ne doit PAS utiliser de vapeur ou d'eau chaude pour le nettoyage des accumulateurs au plomb et à l'acide. Vous assurer que les bouchons sont hermétiquement fermés de façon à ce que l'eau utilisée pour le nettoyage ne pénètre pas dans les éléments. Lorsqu'un accumulateur a été neutralisé, il doit être rincé à l'eau.

Les bouchons sont munis d'orifices pour l'échappement des gaz; ces orifices doivent être maintenus ouverts et propres. Lorsque ces bouchons sont sales, les laver à l'eau claire et bien les assécher.

Fig. 7. La solution de bicarbonate de soude doit être appliquée sur le dessus de l'accumulateur, les bornes et la paroi. S'assurer que les bouchons soient bien fermés (hermétiquement) de façon à ce que cette solution ne pénètre pas dans les éléments. Lorsque vous travaillez sur des accumulateurs, portez des lunettes protectrices et n'oubliez pas d'enfiler des gants de caoutchouc, comme cet électricien d'entretien qui, apparemment, ne l'a pas fait.

Avec la permission de Exide Power Systems Division, ESB Inc.



Avec la permission de Lead Industries Association Inc.

Fig. 8. En plus des sources d'air comprimé ou d'eau froide, il est fort probable que cette station de nettoyage sera également munie d'une source d'alimentation pour la solution de bicarbonate de soude, telle que celle utilisée et illustrée à la **figure 7**. Encore une fois, lorsqu'il s'agit d'un travail comme celui-ci, n'oubliez pas de porter des lunettes protectrices et des gants de caoutchouc.

13 Règles d'entretien général

Il y a un certain nombre de règles pour l'entretien général des accumulateurs dont vous devez vous souvenir.

1. Garder toutes les parties extérieures de l'accumulateur aussi propres et sèches que possible.
2. Toujours garder les bouchons hermétiquement fermés, sauf lorsque vous ajoutez de l'eau ou lorsque vous prenez les lectures de l'hydromètre ou du thermomètre.
3. Ajoutez de l'eau approuvée dans chaque élément avant que le niveau de l'électrolyte n'atteigne le point bas. Les instructions du fabricant vous indiquent quel est le point bas. Ne pas trop remplir.
4. Charger adéquatement. Un taux de charge excessif provoque un bouillonnement trop fort ou une élévation de la température de l'électrolyte.
5. Éviter le surdéchargement, c'est-à-dire décharger plus que le taux ampère-heure recommandé.
6. Ne jamais ajouter d'acide à moins que le fabricant ne le recommande.
7. Ne jamais approcher une allumette ou autre flamme nue près d'un accumulateur.
8. Garder l'espace autour de l'accumulateur, la pièce où il se trouve ou son compartiment bien aéré, et ceci pour plusieurs raisons: les mélanges explosifs de gaz ne pourront pas se former et la température de l'électrolyte sera maintenue peu élevée.
9. Maintenez les fiches à jour.
10. Gardez les contacts de l'accumulateur propres et bien ajustés.
11. Ne pas placer d'outils sur le dessus de l'accumulateur.

Exercice de contrôle 3

Faites une courte pause et vérifiez si vous avez bien compris les principes de base concernant l'entretien préventif des accumulateurs. Lorsque vous aurez répondu aux questions, vérifiez vos réponses pour voir si celles-ci correspondent aux nôtres et faites une révision si nécessaire.

1. Le liquide dans un accumulateur se nomme _____ .
2. Quelle sorte d'instrument utilise-t-on pour mesurer la densité de l'électrolyte dans un accumulateur?
3. Les accumulateurs au plomb et à l'acide doivent être rincés seulement avec de l'eau (froide, chaude).

   Dans l'espace libre, devant chaque groupe de mots à droite, inscrivez la lettre de la phrase ci-dessous qui l'explique le plus adéquatement.

4. *a)* À quel intervalle de temps la densité, la température et le voltage de chaque élément d'un accumulateur de camion industriel doivent-ils être vérifiés?
   b) À quel intervalle de temps la densité des éléments moteurs de l'accumulateur d'un camion industriel doit-elle être vérifiée si nécessaire?
   c) Lorsqu'il s'agit d'un accumulateur de camion industriel, à quel intervalle de temps le niveau de l'électrolyte doit-il être vérifié et de l'eau ajoutée si nécessaire?

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____ _____
4. ____ tous les 3 mois
   ____ tous les jours
   ____ 1 fois par semaine

Réponses à l'exercice 3

1. Électrolyte — Section 10
2. Un hydromètre — Section 11
3. Froide — Section 12

4. *a* Tous les 3 mois — Section 11
   b Tous les jours — Section 11
   c Une fois par semaine — Section 10

Recherche des pannes et installation

14 Comparaison entre la recherche des pannes et l'entretien préventif

Lorsque vous effectuez une tournée d'entretien préventif dans votre lieu de travail, vous recherchez des signes avant-coureurs de pannes. Pendant que vous effectuez un travail d'entretien préventif, régulier et planifié, dans le domaine de l'électricité, vous procédez à l'installation, à la lubrification ou au réglage de l'équipement dans le but de prévenir des pannes. L'entretien préventif est semblable à une police d'assurances. Votre compagnie dépense beaucoup d'argent pour l'entretien préventif dans le but d'éviter des ennuis et des pertes de temps imprévues. Dans une usine bien organisée, il n'y a que quelques problèmes majeurs parce que grâce au programme d'entretien préventif, les systèmes peuvent être maintenus en bon état de marche, relativement sans problèmes.

Toutefois l'entretien correctif est différent de l'entretien préventif. Lorsque l'entretien correctif, appelé recherche des pannes, s'avère nécessaire, c'est qu'il y a un problème, maintenant! Le dépanneur ou celui qui recherche la panne a un problème à résoudre. L'équipement est en panne et le problème doit être corrigé. Le dépanneur arrive APRÈS la panne et non AVANT, comme lorsqu'il s'agit d'un programme normal d'entretien préventif.

Tout comme le mécanicien d'automobile faisant face à une panne sur la route, le dépanneur de l'entretien préventif fait face lui aussi à une panne, mais dans le système électrique.

Il doit déterminer quelle partie du système ne marche pas ou quel genre de panne a pu se produire.

Découvrir la cause de la panne est seulement la première étape. Le dépanneur doit corriger le problème. Il doit réparer ou remplacer l'unité défectueuse afin que l'équipement puisse de nouveau donner le maximum de rendement.

Dans une certaine limite, l'entretien préventif c'est l'entretien requis afin d'éviter que toute panne ou problème ne survienne; la recherche des pannes c'est l'entretien requis pour corriger un problème qui a déjà provoqué une panne de l'équipement.

15 Marche à suivre pour la recherche des pannes

En ce qui a trait à la recherche des pannes, une méthode générale s'applique dans chaque cas du genre. Cette méthode comporte deux étapes. La première étape est le diagnostic de la cause du problème alors que la deuxième étape est la remise en état du système afin que celui-ci recommence à fonctionner normalement. Les deux étapes sont plus facilement énoncées qu'accomplies.

Le diagnostic implique l'examen des symptômes de la panne de façon à découvrir quelle partie doit être réparée ou remplacée, afin de remettre l'unité en état de fonctionnement. Procéder au diagnostic d'un système électrique défectueux demande beaucoup de savoir-faire. Certains électriciens sont meilleurs que d'autres lorsqu'il s'agit de procéder à un diagnostic; celui-ci exige de l'adresse et du savoir-faire ainsi qu'une approche logique, c'est-à-dire procéder par étapes, afin de déterminer quelle partie du système est défectueuse.

La première étape d'un diagnostic consiste à recueillir l'information. Observez et faites des tests. Observez l'équipement avec vos cinq sens. Vous êtes à la recherche de fusibles sautés, de disjoncteurs ouverts, d'interrupteurs qui ne fonctionnent pas, de signes de fumée ou d'étincelles ou de raccordements défectueux.

Si l'inspection visuelle ne suffit pas pour localiser le problème utilisez vos instruments de mesure. Vérifiez les éléments essentiels de l'équipement: les voltages, les courants, les résistances et plus spécialement la résistance de l'isolant. Vous vérifiez surtout les défectuosités électriques comme les courts-circuits, les mises à la terre, les circuits ouverts et les pertes électriques.

En vérifiant chacun des éléments essentiels comparez les résultats obtenus par rapport aux valeurs de fonctionnement normal pour cette unité en particulier. Vous vous demandez alors: quel rapport y-a-t-il entre les lectures obtenues lors de ces vérifications et les lectures recueillies lorsque l'équipement fonctionnait normalement?

La logique exige, dans la recherche des pannes, que l'on commence par le début. Le réparateur de télévision s'assure en premier lieu que le courant de la maison est normal, que la prise de courant est dans son réceptacle et que le courant acheminé vers l'appareil n'est pas interrompu. Si tous ces points sont satisfaisants, il enlève alors le panneau arrière et commence à chercher la cause de la panne proprement dite. Le même principe s'applique lorsqu'il est question de rechercher une panne dans un travail d'entretien préventif. Grâce à votre formation, vous aurez le savoir-faire nécessaire pour exécuter ce travail étape par étape, à partir du début.

Ainsi à l'aide d'inspections visuelles et de vérifications électriques, vous pourrez déceler la section du système électrique qui semble douteuse. Par la suite, vous vérifiez, une à une, les parties de cette section qui semblent douteuses. Finalement vous localisez la pièce défectueuse. C'est alors que vous prenez les mesures correctives qui s'imposent: réparer ou remplacer, selon le cas, la pièce défectueuse. L'équipement est maintenant remis en état de marche.

16 Exemple de recherche d'une panne d'un moteur

Supposons que vous cherchez la cause d'une panne électrique particulière: soit un moteur qui tout simplement s'arrête de fonctionner. La première étape pour l'électricien, comme pour le réparateur de télévision, c'est de vérifier la puissance fournie au moteur. Ceci peut être fait rapidement en vérifiant si l'équipement se trouvant autour fonctionne bien. Si toute la machinerie, à proximité du lieu de travail ne fonctionne pas, le problème se situe dans le circuit de distribution de l'énergie de cette zone-là. Toutefois si le moteur est la seule unité qui ne fonctionne pas, examinez alors les composantes de son circuit de protection et de contrôle.

S'il s'agit d'un circuit de moteur comme celui illustré sur le schéma fonctionnel de la **figure 9**, il y a habituellement un disjoncteur ou un fusible entre le moteur et la source d'alimentation. Dans le cas présent, nous supposons que le branchement comprend les fusibles et les disjoncteurs. Le contrôleur peut inclure la mise en marche/arrêt, l'inversion et le contrôle des vitesses. Afin d'isoler le problème, vous devez d'abord vérifier les fusibles et les disjoncteurs. Il est possible qu'un disjoncteur se soit ouvert automatiquement. Si tel est le cas, le réenclencher. Lorsque le moteur sera remis en marche, une des deux choses suivantes se produira: le disjoncteur restera en place ou se réouvrira encore. Si celui-ci n'est pas réouvert, il y a de fortes chances qu'une surtension de courant imprévue ait à l'origine ouvert le dispositif protecteur. Le fait de réenclencher le disjoncteur, une fois le courant revenu à la normale, résout généralement le problème.

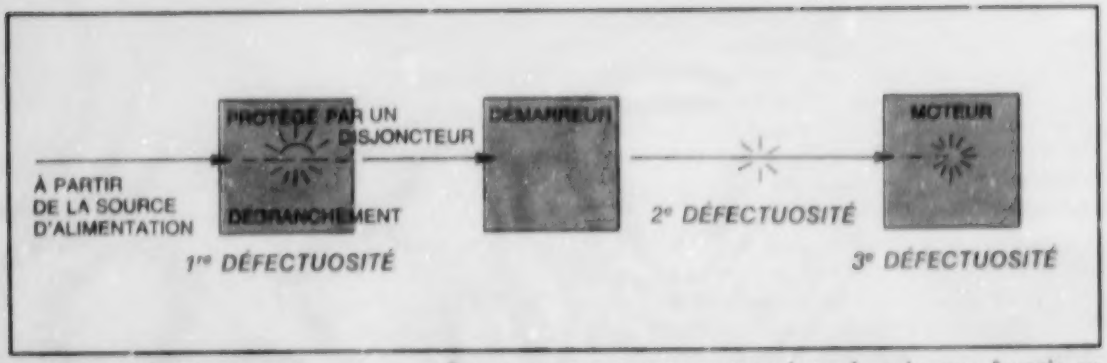


Fig. 9. Le schéma fonctionnel illustre les principales composantes du circuit du moteur. Lorsque vous cherchez la cause de la panne d'un circuit, vous devez d'abord trouver quelle composante ou unité principale est défectueuse. Ensuite, trouver la pièce de cette unité qui fait défaut.

Supposons que vous avez trouvé que la puissance fournie au moteur était adéquate; vous fermez le disjoncteur, mais le moteur ne fonctionne pas. Si tel est le cas, il y a une interruption ou quelque chose d'ouvert dans le circuit électrique du moteur. Dans un cas comme dans l'autre, le dispositif de protection du disjoncteur ne s'ouvre pas, étant donné qu'il n'y a pas de courant de surcharge. Le circuit interne du moteur ne consomme simplement pas d'énergie électrique; le moteur est pour ainsi dire mort. Lorsque ceci se produit, on doit localiser et réparer l'interruption dans le circuit interne du moteur.

Toutefois, si le disjoncteur continue à s'ouvrir, c'est qu'il y a une surintensité de courant. Le problème peut avoir trois causes possibles, tel qu'illustré à la **figure 9**. La première: le disjoncteur lui-même peut être défectueux et n'est plus en mesure d'absorber le courant spécifié à l'origine et pour lequel il a été fabriqué. Si c'est le cas, il faut remplacer le disjoncteur en question.

La deuxième: l'isolant des conducteurs qui transportent le courant à partir de la source d'alimentation jusqu'au moteur peut être défectueux, il peut s'agir d'un court-circuit ou d'un circuit mis à la terre. Dans un cas comme dans l'autre, le disjoncteur prend trop de courant et s'ouvre. Pour remédier à cette défectuosité, il faut d'abord trouver l'endroit où l'isolant est endommagé. Ensuite réparer ou remplacer le conducteur.

La troisième possibilité est une défectuosité dans les bobinages du moteur. La **figure 10** illustre plusieurs possibilités de défectuosités. Il peut y avoir une fuite dans l'isolant des bobinages du noyau du stator, ce qui cause un court-circuit ou une défectuosité de mise à la terre. Dans un cas comme dans l'autre, le disjoncteur tire plus de courant qu'il ne le devrait, c'est-à-dire pour lequel il a été conçu. Le disjoncteur s'ouvrira chaque fois qu'il sera fermé manuellement. La seule façon de remédier à ce problème est de réparer ou de remplacer le moteur, autrement le disjoncteur ne restera pas enclenché.

Fig. 10. Les défectuosités illustrées ici ont été trouvées dans différents moteurs. Des défectuosités de ce genre causeront des pertes de temps et l'arrêt de l'équipement, étant donné que les moteurs devront être réparés dans un atelier spécialement équipé pour exécuter ce genre de travail.

Généralement, lorsque des dispositifs de protection tels des disjoncteurs, sautent ou s'ouvrent, c'est qu'ils font leur travail: protéger l'équipement électrique contre une intensité du courant excessive. Il vous appartient donc de chercher la cause de la panne et de localiser la composante électrique défectueuse.

17 Installation

En tant qu'électricien d'entretien votre travail comporte deux responsabilités de base, à savoir l'entretien préventif et la recherche des pannes. Occasionnellement, vous aurez une troisième responsabilité: les installations électriques. Ceci peut comprendre le conduit électrique et les conducteurs pour une nouvelle machine ou les appa-

reils d'éclairage pour ouvrir à la production une nouvelle partie de l'usine. En règle générale, vous apprendrez à installer cet équipement en aidant un électricien d'expérience. Au fur et à mesure que vous avancerez dans ce programme et à l'aide de votre formation pratique dans l'usine même, vous serez de plus en plus en mesure d'effectuer vos propres installations électriques. La **figure 11** illustre différents travaux que vous aurez à exécuter pour l'installation d'un nouvel équipement.

Fig. 11. En règle générale, lorsque vous installerez un nouvel équipement, vous devrez plier un conduit et tirer des fils. Cependant s'il arrive qu'un fil soit court-circuité ou qu'il soit ouvert, vous devrez tirer des fils de remplacement en tant que mesures correctives.

MONTAGE D'UNE CINTREUSE HYDRAULIQUE

UTILISATION D'UN RUBAN DE TIRAGE POUR TIRER DES FILS

18 Savoir-faire

Peu importe le travail, le «grand patron» c'est votre cerveau. Il analyse ce qui doit être fait et commande ensuite à vos mains de le faire. Le cerveau reçoit des données à partir des exigences du travail, des sens et des instruments de vérification. Il commence instantanément à réviser les données reçues pour résoudre le problème.

Votre cours de formation vous ayant bien préparé à votre travail d'électricien, vous êtes maintenant prêt à travailler à l'aise et en toute confiance à l'aide de vos outils et instruments de vérification alors que votre cerveau agira comme coordonnateur. Il en résultera une réaction en chaîne: un message sera envoyé à vos mains, puis aux instruments de vérification et finalement à l'équipement.

Tout ceci exige une grande connaissance et une bonne expérience dans le domaine des systèmes électriques. Au cours de votre programme de formation, vous apprendrez à connaître le fonctionnement des systèmes électriques de base ainsi que la façon de travailler en toute sécurité. Vous serez également initié à quelques autres matières, telles que l'électricité statique, l'électricité dynamique ou le flux de courant, les instruments de mesure, le vocabulaire de l'électricité et les symboles utilisés sur différents types de dessins d'électricité.

Exercice de contrôle 4

Avant de compléter le questionnaire d'examen faites une courte pause et faites une révision de quelques points importants. Comparez vos réponses avec les nôtres et s'il y a lieu, révisez les sections où vous n'avez pas su répondre correctement.

Vos réponses

1. **L'entretien correctif est fait (avant, après) _____ l'arrivée d'un problème.** 1. _____

2. **Un électricien d'entretien cherche la cause d'une panne lorsqu'il (installe, répare) _____ un appareil électrique.** 2. _____

3. **Les courts-circuits, les circuits ouverts et les mises à la terre sont des types de _____ électriques.** 3. _____

4. **Lequel des énoncés suivants semble logique lorsqu'il s'agit de chercher la cause d'une panne?** 4. _____
   a) **Premièrement, vérifier le problème visuellement, puis utiliser des instruments électriques.**
   b) **Premièrement, remplacer la pièce la plus âgée ou la pièce qui a été utilisée le plus longtemps.**
   c) **Lorsqu'il y a un nouveau problème, remplacer immédiatement la pièce, peu importe laquelle, qui a été la cause du problème le plus récent.**
   d) **Lorsqu'un moteur est arrêté, premièrement vérifier le circuit à l'intérieur du moteur afin de voir s'il n'y aurait pas de circuits ouverts ou de courts-circuits, puis vérifier le fusible ou le disjoncteur.**

5. **À l'intérieur du circuit d'un moteur, où le fusible ou le disjoncteur est-il situé?** 5. _____

6. **En général, vous apprendrez la façon d'installer un nouvel équipement électrique dans une usine en aidant un électricien _____.** 6. _____

Réponses à l'exercice 4

1. Après — Section 14
2. Les réparations — Section 14
3. Les défectuosités — Section 15
4. *A* — Sections 15, 16
5. Entre le moteur et la source d'énergie — Section 14
6. L'expérience — Section 17

Examen personnel

Veuillez lire attentivement chacun des énoncés suivants et assurez-vous de bien les comprendre. Chaque énoncé est suivi de quatre mots ou phrases mais seulement un de ces choix est correct. Apposer un X sur la lettre correspondant à votre réponse.

1. Dans l'équipement électrique dont vous êtes responsable, en tant qu'électricien d'entretien, il y a une machine à souder par résistance. Comment définit-on le travail consistant à réduire au minimum les pertes de temps sur cette soudeuse et à trouver rapidement les causes de n'importe quel problème pouvant survenir?

   A. l'entretien préventif et la recherche des pannes
   B. l'entretien correctif et l'installation
   C. la recherche des pannes et l'entretien correctif
   D. l'installation et l'entretien préventif

2. Comment appelle-t-on le calendrier de travail basé sur des périodes de temps régulières et le temps de fonctionnement d'une machine?

   A. un calendrier pour la recherche des pannes
   B. un calendrier d'installation
   C. un calendrier d'entretien préventif
   D. un calendrier d'entretien correctif

3. Utiliser vos sens pour repérer un problème, comparer des mesures électriques avec d'autres relevées antérieurement et prendre les mesures qui s'imposent pour éviter des pertes de temps sont des exemples de:

   A. planification d'un programme d'entretien préventif
   B. vérification de l'équipement au cours de l'entretien préventif
   C. enregistrement des mesures
   D. recherche des pannes de l'équipement

4. Lorsqu'il s'agit d'un système électrique, les pièces que vous devez vérifier le plus souvent pour l'usure et la détérioration sont les:

   A. pièces fixes et les conducteurs
   B. pièces mobiles et les conducteurs
   C. pièces fixes et l'isolant
   D. pièces mobiles et l'isolant

5. Vous travaillez en tant qu'électricien d'entretien durant une période de production. Vous constatez qu'une courroie, accouplant un moteur à une certaine charge, montre des signes d'usure et ne durera que quelques jours encore.

La prochaine période de travail prévoit un temps d'arrêt; vous suggérez donc à l'électricien d'entretien, en service à ce moment-là, de changer cette courroie et de vérifier l'alignement des poulies pendant ce temps d'arrêt. Ce que vous venez de faire et qui est très important s'appelle:

A. prévoir un temps d'arrêt
B. découvrir des problèmes éventuels
C. remédier à des pannes
D. installer un nouvel équipement

6. Comment s'appelle cette mesure préventive qui consiste à ajouter de l'eau dans un accumulateur?

A. une réparation
B. un remplacement
C. un nettoyage
D. un réapprovisionnement

7. Lorsque vous ajoutez de l'eau dans un accumulateur, vous êtes toujours en sécurité en utilisant:

A. de l'eau chaude provenant du robinet
B. de l'eau froide provenant du robinet
C. de l'eau distillée
D. de l'eau de soude

8. On peut nettoyer un accumulateur en l'essuyant avec un linge propre ou encore en utilisant:

A. de l'air comprimé ou de l'eau froide
B. de l'air comprimé ou de l'eau chaude
C. de l'air comprimé ou de la vapeur sous pression
D. de la vapeur sous pression ou de l'eau froide

9. La recherche des pannes signifie également:

A. l'entretien préventif
B. l'entretien correctif
C. l'installation
D. le réapprovisionnement

10. Vous constatez qu'un certain moteur vibre. Après une inspection visuelle minutieuse, vous en déduisez que cette vibration est causée par une courroie passablement usée. L'action de déterminer quelle partie de système est défectueuse est un exemple de:

A. réapprovisionnement
B. remise à neuf
C. diagnostic
D. prise de mesures

Vous trouverez les réponses à la page 289.

Entretien préventif

AF0102

(Lexiques)

Français	Anglais
Avertissement	Warning
Bouchon de ventilation	Vent Plug
Bruit (son)	Sound
Bruit sourd (ronronnement)	Hum
Cédule	Schedule
Courant	Current
Débordement	Overflow
Densité	Specific Gravity
Dépannage	Troubleshouting
Diagnostic	Diagnosis
Enregistrement	Logging
Enroulement	Winding
Entretien	Maintenance
Fonctionnement	Running
Fusible	Fuse
Hydromètre	Hydrometer
Interrupteur	Switch
Interrupteur automatique	Breaker
Lubrifiant	Lubricating
Nettoyage	Cleaning
Niveau	Level
Panne	Breakdown
	Failure
Parcours	Path
Planification	Planning
Réapprovisionnement	Replenishing
Registre	Record
Réglage	Adjusting
Remise en service	Restoration
Réparation	Repairing
Surcharge	Overcharge
Temps d'arrêt	Downtime
Tension	Voltage
Usure	Wear
Vérification	Check

Anglais	Français
Adjusting	Réglage
Breakdown	Panne
Breaker	Interrupteur automatique
Check	Vérification
Cleaning	Nettoyage
Current	Courant
Diagnosis	Diagnostic
Downtime	Temps d'arrêt
Failure	Panne
Fuse	Fusible
Hum	Bruit sourd (ronronnement)
Hydrometer	Hydromètre
Level	Niveau
Logging	Enregistrement
Lubricating	Lubrifiant
Maintenance	Entretien
Overcharge	Surcharge
Overflow	Débordement
Path	Parcours
Planning	Planification
Record	Registre
Repairing	Réparation
Replenishing	Réapprovisionnement
Restoration	Remise en service
Running	Fonctionnement
Schedule	Cédule
Sound	Bruit (son)
Specific Gravity	Densité
Switch	Interrupteur
Troubleshooting	Dépannage
Vent Plug	Bouchon de ventilation
Voltage	Tension
Warning	Avertissement
Wear	Usure
Winding	Enroulement

Piles électriques et accumulateurs

AF0103

Piles électriques et accumulateurs

Objectifs d'enseignement

Les électriciens d'entretien d'une usine doivent connaître la différence entre les batteries de piles sèches et les accumulateurs. Vous devez savoir comment entretenir ces deux types d'accumulateurs et la façon de prévenir tout problème éventuel lorsqu'ils sont en service. Vous devez également être au courant des problèmes qui peuvent survenir si les règles les plus élémentaires, concernant l'entretien, sont négligées.

- *Expliquez la différence entre une pile sèche et un élément d'accumulateur.*
- *Raccordez ensemble un certain nombre de piles ou d'accumulateurs afin d'obtenir un voltage ou un courant plus élevé, ou les deux.*
- *Prenez les précautions nécessaires lorsque vous travaillez à proximité des accumulateurs et sachez comment les nettoyer.*
- *Identifiez les problèmes dus à la poussière, à la corrosion ou à une décharge.*
- *Indiquez les sortes d'instruments utilisés pour la vérification des accumulateurs.*
- *Prévoyez toute possibilité d'explosion lorsque vous chargez ou déchargez des accumulateurs, plus spécialement à fort régime.*

Table des matières

Piles électriques

Piles et accumulateurs 81
Autres sources de voltage à courant continu 81
Pile électrique élémentaire 82
Flux de courant 83
Piles primaires et secondaires 83
Exercice de contrôle 1 85
Vue en coupe d'une pile sèche 86
Batteries de piles sèches 87
Piles raccordées en série 87
Piles raccordées en parallèle 88
Raccordement des piles en série-parallèle 89
Accumulateurs à piles humides 90
Vue en coupe d'une pile humide 91
Exercice de contrôle 2 92

Accumulateurs

L'accumulateur 93
La fabrication d'un accumulateur 93
La méthode de raccordement des éléments 94
Accumulateurs scellés 95
Les câbles et les barrettes de l'accumulateur 95
L'entretien des accumulateurs 96
Exercice de contrôle 3 98

Vérification et charge d'un accumulateur

Vérification de l'accumulateur 99
Le test de la densité 99
Le test sous faible charge et test de décharge à haut régime 99
Le test de l'hydromètre sous pleine charge d'un hydromètre 100
Recharge d'une batterie d'accumulateurs 101
Régimes de recharge 101
Règles pour l'entretien général des accumulateurs 102
Exercice de contrôle 4 104

Examen personnel 105

Lexiques 107

Piles électriques

1 Piles et accumulateurs

Dans certaines usines, les piles électriques et les accumulateurs sont utilisés sur une grande échelle. Ils constituent une source d'appoint pour l'énergie produite par le courant continu et on les utilise dans les systèmes d'interphone et de communication interne ainsi que dans les systèmes téléphoniques et d'éclairage d'urgence. Les dispositifs d'alarme et de verrouillage de sécurité peuvent également fonctionner sur des piles ou des accumulateurs en cas de panne de la source d'énergie principale. Les accumulateurs sont également utilisés pour l'équipement de manutention des matériaux tel que les camions électriques.

En tant qu'électricien d'entretien, vous vous familiariserez avec les différents types de cellules et d'accumulateurs. Vous apprendrez également la façon de les entretenir, quels en sont les problèmes inhérents et comment remédier à ceux-ci lorsqu'ils surviennent.

Premièrement, quelle est la différence entre une cellule (pile électrique) et un accumulateur? Pour l'exprimer simplement, pile est le voltage de base et la source de courant; un accumulateur est un groupe de piles. Un exemple serait la pile sèche utilisée dans une lampe de poche, telle la pile illustrée à la **figure 1**. La pile sèche d'une lampe de poche est souvent appelée à tort, un accumulateur (ou batterie). Une pile sèche produit environ 1,5 V (volts). Il existe également des piles «humides», comme celles utilisées dans les batteries d'automobiles. Ce type de pile produit un peu plus que 2 V.

Dans une batterie d'automobile de 12 V, il y a six piles reliées en série. La lanterne portative, commode et d'utilité générale, pour exécuter différents travaux d'entretien, peut contenir un accumulateur de 7,5 V; elle comprend cinq piles sèches de 1,5 V raccordées en série alors qu'un accumulateur de 9 V est constitué de six piles sèches de 1,5 V.

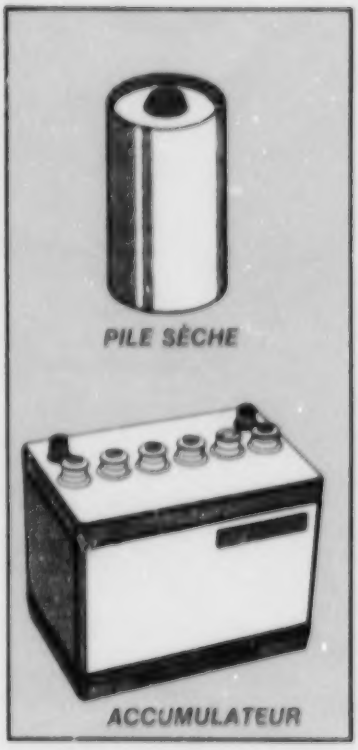
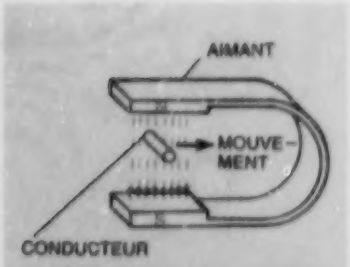


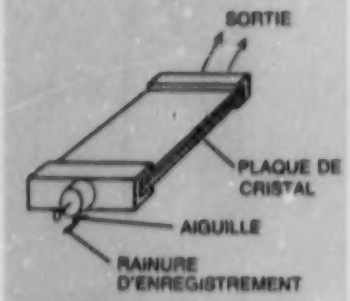
Fig. 1. La pile illustrée ici est une pile sèche, comme celles utilisées dans les lampes de poche et les radios à transistor. Les piles sèches sont pratiques à utiliser mais sont généralement jetées lorsqu'elles sont épuisées. Les accumulateurs contenant des piles humides exigent plus d'entretien mais par contre, elles peuvent être rechargées et durent plus longtemps.

2 Autres sources de voltage à courant continu

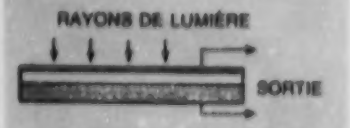
Les piles et les accumulateurs convertissent l'énergie chimique en énergie électrique produisant ainsi un flux d'électrons appelé courant électrique. Avant d'élaborer davantage sur les piles et les accumulateurs, mentionnons d'autres sources de courant continu et leurs utilisations.



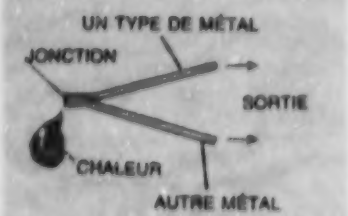
ACTION DU GÉNÉRATEUR



ACTION MÉCANIQUE



ACTION DE LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE



ACTION D'UN THERMOCOUPLE

Lorsqu'on a besoin soit de grandes quantités de courant continu ou d'une source de tension (courant continu) pour des applications bien particulières, les générateurs à courant continu peuvent être plus économiques que les accumulateurs. Aussi appelés dynamos, les générateurs à courant continu produisent du courant en convertissant l'énergie magnétique en énergie électrique. De petits générateurs à courant continu sont utilisés sur des modèles de voitures plus anciennes.

D'autres sources de tension à courant continu comprennent les dispositifs qui convertissent l'énergie mécanique, thermique ou lumineuse en énergie électrique. Certains cristaux et matériaux de céramique génèrent une tension lorsqu'on les soumet à une pression; de ce fait, ils convertissent l'énergie mécanique en énergie électrique. C'est ainsi que la plupart des cellules de phonographe produisent des voltages (tensions) correspondant à des signaux, pour reproduire le son à partir d'un disque de phonographe.

D'autres dispositifs, appelés *cellules photovoltaïques*, produisent une tension lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Ces cellules photovoltaïque, ou simplement cellules photo-électriques, sont utilisées dans les posemètres photographiques ainsi que dans l'équipement pour l'automatisation industrielle. Elles sont également utilisées pour contrôler l'ouverture et la fermeture des systèmes d'éclairage installés dans les entrées, les cours et les aires de stationnements de plusieurs usines. Les cellules photoélectriques ont également été utilisées comme source d'énergie dans les véhicules spatiaux.

Deux différents types de métaux peuvent être réunis, mécaniquement, pour former ce qu'on appelle un *couple thermoélectrique*. En chauffant la jonction des deux métaux, on produit une tension (courant continu) aux bornes de sortie du couple thermoélectrique.

3 Pile électrique élémentaire

Pour savoir comment la cellule électrique fonctionne, veuillez référer à la **figure 2**. La pile est composée de deux électrodes qui baignent dans une solution liquide appelée ÉLECTROLYTE. L'électrolyte est une solution faible d'un acide, d'une base ou d'un sel dans l'eau. Par réaction chimique, l'électrolyte se divise en particules, appelées IONS, qui sont des groupes d'atomes. Les ions qui ont trop d'électrons, portent une charge négative, alors que ceux qui n'en ont pas suffisamment, portent une charge positive.

Les ions, négatifs et positifs, flottent dans l'électrolyte. Résultat d'une action chimique, les ions positifs sont attirés vers une électrode et les ions négatifs vers l'autre. En raison de la substance des électrodes, les ions se combinent ou réagissent chimiquement et déposent leurs charges sur les électrodes.

Lorsqu'une électrode reçoit un excédent d'électrons, elle devient

porteuse d'une charge négative alors que l'autre électrode, en perdant des électrons, devient porteuse d'une charge positive. Chaque électrode, dans une pile du commerce, est raccordée à une borne, à l'extérieur de l'électrolyte; ceci explique pourquoi une pile a deux bornes: la borne marquée du signe + (plus) se raccorde à l'électrode positive, alors que l'électrode négative, se raccorde à la borne marquée du signe − (moins).

Lorsqu'une des électrodes porte une charge négative, et que l'autre a une charge positive, il existe une tension ou une différence de potentiel entre les électrodes.

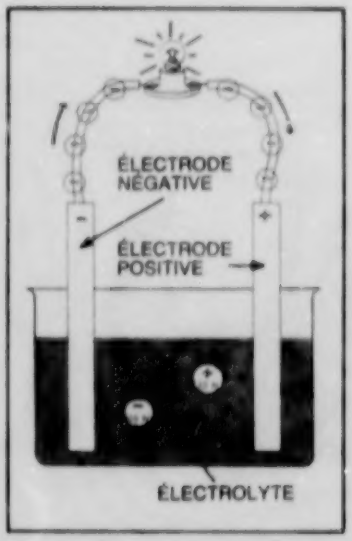


Fig. 2. L'électrolyte à l'intérieur d'une cellule (pile) provoque une réaction chimique avec les deux électrodes. Cette action produit une tension. Dans les piles sèches, l'électrolyte est sous forme de pâte, alors que dans les piles humides, comme celles utilisées dans les accumulateurs, l'électrolyte est liquide.

4 Flux de courant

Lorsqu'un conducteur et une lampe sont raccordés entre les deux électrodes, tel qu'illustré à la **figure 2**, les électrons circuleront entre les électrodes et la lampe s'allumera. Étant donné que les électrons portent une charge négative, le courant s'écoule de la pile à partir de l'électrode négative et passe dans la lampe jusqu'à l'électrode positive.

La tension produite entre les électrodes dépend des matériaux utilisés dans les électrodes et de l'électrolyte. Une pile composée de matériaux déterminés produira une tension dont la puissance sera pour ainsi dire constante pendant toute sa vie utile. La quantité de courant qu'une pile peut fournir dépend beaucoup de la dimension de celle-ci et des pièces qui la composent. Les électrodes de la pile ainsi que l'électrolyte subissent un changement chimique lorsque la pile produit du courant. Après quelque temps, les électrodes auront tellement changé, que la pile ne sera plus en mesure de produire du courant. À ce moment-là, quelques types de piles peuvent être rechargées et réutilisées, tandis que d'autres doivent être remplacées.

5 Piles primaires et secondaires

Toutes les piles ne peuvent pas être rechargées; certains types de piles épuisent tellement leurs matériaux qu'il n'est pas pratique de les recharger. On les appelle les piles primaires. La plupart des piles sèches font partie de cette catégorie. Les piles rechargeables sont appelées piles secondaires ou accumulateurs. Les électrodes ainsi que l'électrolyte de cette deuxième catégorie de piles peuvent être rechargées et remises à neuf, c.-à-d. qu'on peut leur rendre leur état initial d'activité chimique.

Pour recharger une pile on procède ainsi: on fait passer le courant à travers la pile mais dans la direction opposée à celle suivie normalement par le courant de décharge. La pile secondaire standard produit 2 V. Certains accumulateurs, incluant ceux installés dans les automobiles, sont constitués de piles secondaires. Lorsque le moteur d'une automobile fonctionne, il commande un générateur ou un alternateur, qui produit le courant de charge nécessaire pour recharger les piles.

Il y a deux catégories de piles: humides et sèches. Dans le cas d'une pile humide, l'électrolyte est liquide. Les piles qui constituent les accumulateurs des automobiles, soit des piles humides utilisent un électrolyte composé d'acide sulfurique dilué (solution faible). L'électrolyte d'une pile sèche par contre est sous forme de pâte. Donc, l'électrolyte, à l'intérieur de la pile sèche d'une lampe de poche standard, est composé de chlorure d'ammoniaque sous forme de pâte.

Exercice de contrôle 1

Faites une courte pause pour revoir quelques points importants. Si vos réponses ne correspondent pas aux nôtres, faites une petite révision de cette leçon.

1. La tension d'un élément d'accumulateur est d'environ (1,5 ou 2) _____ volts.

2. Quelle sorte de piles (sèches, humides) _____ utilise-t-on dans un accumulateur d'automobile standard de 12 volts?

3. Supposons que votre chef de service vous demande de raccorder en série des piles sèches de 1,5 V pour constituer un accumulateur de 15 V. Combien de piles devrez-vous utiliser?

   A. 1 *C.* 10
   B. 5 *D.* 15

4. Les piles et les accumulateurs produisent de l'électricité en convertissant l'énergie _____ en énergie électrique.

   A. mécanique *C.* thermique
   B. chimique *D.* calorifique

5. Les deux signes communément utilisés sur une pile sont _____ et _____.

6. Lorsqu'une lampe est raccordée entre les deux électrodes ou bornes d'une pile, les électrons voyagent (à partir, vers) _____ l'électrode négative.

7. Quel genre de piles ne PEUVENT PAS normalement être rechargées?

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____ _____
6. _____
7. _____

Réponses à l'exercice 1

1. 2 Section 1 5. *B* chimique Section 2
2. Humide Section 1 5. Négatif ou moins (−)
3. *C* 10 Section 1 positif ou plus (+) Section 3
   $\left(\frac{15}{1,5} = 10 \text{ piles ou } 10 \times 1,5 = 15 \text{ V}\right)$ 6. À partir de la borne négative (−) Section 4
   7. Piles primaires Section 5

6 Vue en coupe d'une pile sèche

Veuillez vous reporter à la **figure 3** qui montre la construction d'une pile sèche. La plaque positive ou l'électrode, est constituée d'une tige de carbone et la plaque négative, d'une enveloppe de zinc. Une paroi protectrice entoure l'électrolyte en pâte. L'électrolyte de cette pile est composé de chlorure d'ammoniaque. Le dessus de la pile est protégé par un couvercle d'acier et une chambre de détente a également été prévue. Le couvercle d'acier est isolé des plaques négati-

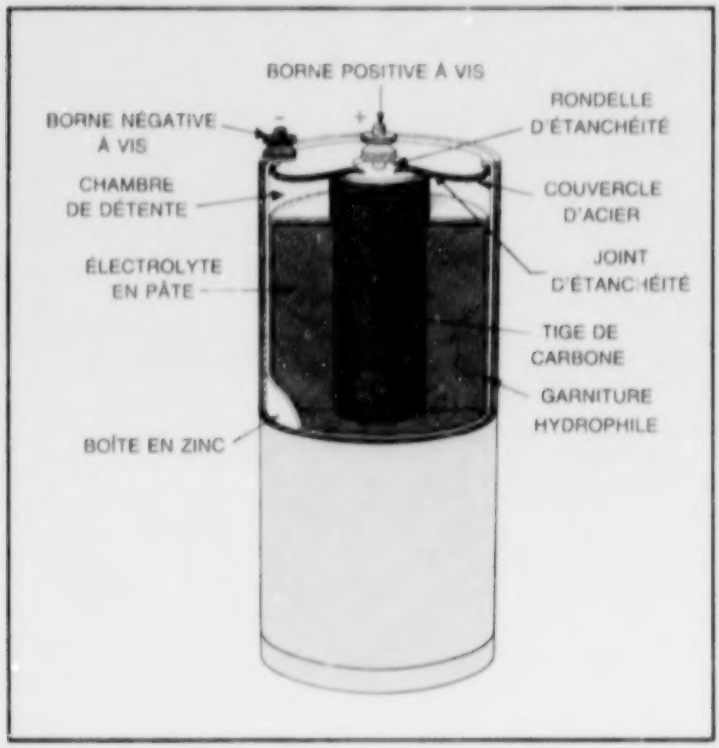


Fig. 3. Dans cette pile type, la tige de carbone constitue l'électrode positive, tandis que l'enveloppe de zinc forme l'électrode négative. Ce type de pile sèche est muni de bornes à vis. Certains modèles de piles et d'accumulateurs sont pourvus de bornes à ressorts. Plusieurs lanternes portatives ont aussi ces bornes à ressorts puisque ce dispositif facilite le remplacement des batteries.

ves (boîte de zinc) et positive à l'aide respectivement d'un joint et d'une rondelle d'étanchéité. Les plaques positive et négative, ou électrodes, sont raccordées aux bornes positive et négative munies de vis. Afin de protéger la boîte de zinc contre tout dommage ou la corrosion, le boîtier de la pile est protégé par une enveloppe de carton.

7 Batterie de piles sèches

Rappelez-vous qu'un accumulateur est composé d'un certain nombre de piles raccordées ensemble. Les piles qui sont raccordées en série, produisent un voltage plus élevé que celui fourni par une seule de ces piles. Lorsque les piles sont raccordées en parallèle, le débit de courant est plus élevé que s'il n'y avait qu'une seule pile. Donc, lorsque les piles sont raccordées en série-parallèle, nous obtenons un voltage et un courant plus élevés.

8 Piles raccordées en série

La **figure 4** montre une pile sèche raccordée à un voltmètre (courant continu), instrument utilisé pour mesurer le voltage. Le voltmètre indique que le voltage de sortie de la pile est de 1,5 volt. Cette figure montre également un accumulateur composé de cinq piles sèches raccordées en série. Dans ce raccordement en série, la borne positive du voltmètre est raccordée à la borne positive de la première pile. Par la suite, la borne négative de la première pile est raccordée à la borne positive de la seconde pile; puis la borne négative de la deuxième pile est raccordée à la borne positive de la troisième et ainsi de suite.

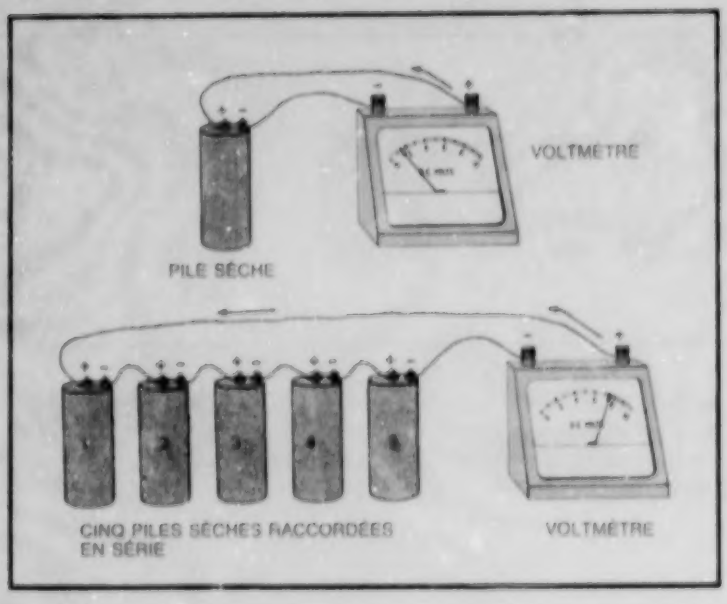


Fig. 4. Une pile sèche fournit 1,5 volts. Cinq piles sèches produisent cinq fois plus de voltage, soit 7,5 volts. N.B. Les piles sont réunies l'une à l'autre par une série de PLUS ou de MOINS. (+) (−).

Enfin la borne négative de la cinquième et dernière pile est raccordée à la borne négative du voltmètre. Le voltmètre indique donc un voltage total de 7,5 V.

Lorsque des piles sont raccordées en série, le voltage final obtenu équivaut au total des voltages individuels de toutes ces piles. Étant donné que chaque pile produit 1,5 V, le voltage total des cinq piles raccordées en série sera 1,5 + 1,5 + 1,5 + 1,5 + 1,5 = 7,5 V ou 5 × 1,5 V = 7,5 V.

Même s'il est possible d'obtenir un voltage assez élevé à partir d'un accumulateur dont les piles sont raccordées en série, il faut se souvenir que ce type de batterie présente un gros désavantage: les piles raccordées en série ne peuvent fournir plus de courant qu'une pile quelconque dans la batterie.

9 Piles raccordées en parallèle

La **figure 5** montre la deuxième façon de former une batterie, c.-à-d. raccorder les piles *en parallèle*. Dans ce type de connexion les bornes positives de toutes les piles sont reliées les unes aux autres, puis à la borne positive du voltmètre. Les bornes négatives sont de même reliées entre elles et à la borne négative du voltmètre. Vous constaterez néanmoins que le voltmètre indique un voltage de 1,5 V, soit le voltage produit par une seule pile, même si cette batterie (accumulateur) est composée de cinq piles sèches. Une batterie dont les piles sont raccordées en parallèle produit un courant égal à la somme totale des courants produits par toutes les piles composant cette batterie.

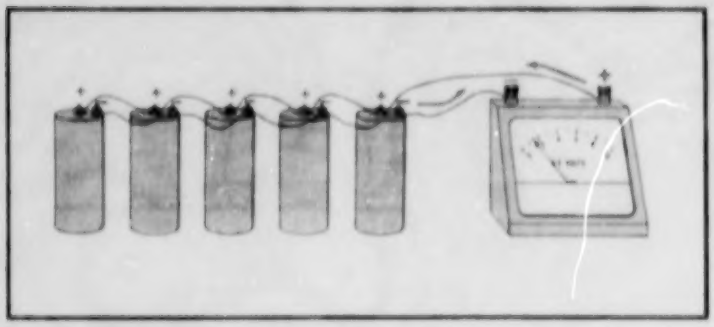


Fig. 5. Les piles dans une batterie sont raccordées en parallèle pour fournir un courant plus élevé.

La capacité d'alimentation en courant d'une batterie de piles raccordées en parallèle est égale à la capacité combinée de toutes les piles. Ainsi, si chaque pile (voir la **figure 5**) peut produire 1 ampère, la capacité totale sera de: 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5 A ou 5 × 1 A = 5 A.

Le montage en série a cependant un désavantage: les voltages sont élevés, mais les courants sont plutôt faibles. S'il s'agit d'un montage en parallèle, c'est le contraire: c.-à-d. le courant est élevé, mais les tensions (ou voltages) sont assez faibles.

10 Raccordement des piles en série-parallèle

Les batteries dont les piles sont raccordées en série-parallèle (voir *figure 6*) peuvent produire des courants et des voltages assez élevés. La **figure 6** montre un accumulateur composé de deux groupes parallèles de quatre piles raccordées en série. Chaque groupe fournit individuellement 4 × 1,5 V ou 6 volts, tel qu'indiqué sur le voltmètre.

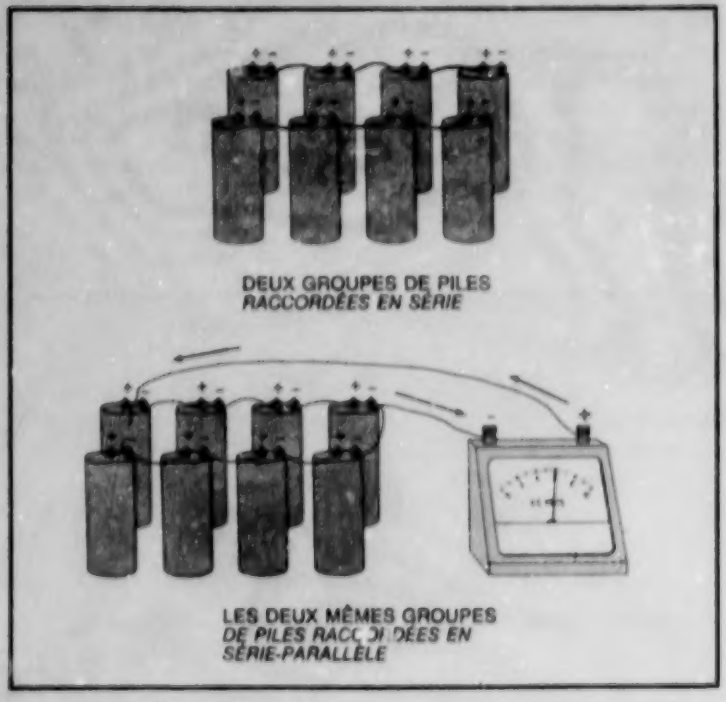


Fig. 6. Lorsque les piles d'un accumulateur sont raccordées en série-parallèle, on peut obtenir un courant et un voltage plus élevés que si les piles étaient raccordées en série ou en parallèle seulement.

Donc l'accumulateur dont les deux groupes de piles sont raccordées en *parallèle* produit un courant double de celui fourni par un des groupes raccordé en série. Si vous vous reportez à la figure 6, vous remarquerez que les bornes positives sont raccordées aux bornes négatives. Les bornes des piles d'extrémité de ces groupes en série sont raccordées du positif au positif, et du négatif au négatif. Les bornes négatives des première et cinquième piles sont raccordées à la borne négative du voltmètre, tandis que les bornes positives des quatrième et huitième piles sont raccordées à la borne positive du voltmètre.

Comme électricien d'entretien dans une usine, il se peut que vous n'ayez jamais l'occasion de raccorder des piles en série ou en parallèle, ou en série-parallèle. Les batteries disponibles sur le marché comportent déjà les combinaisons nécessaires à l'établissement d'un voltage standard et des intensités nominales de courant.

11 Accumulateurs à piles humides

La **figure 7** illustre les deux parties essentielles d'un accumulateur à piles humides, c.-à-d. les deux électrodes, une positive et une négative. Chaque électrode est composée d'un groupe de plaques, reliées les unes aux autres par une barrette de plaques conductrice. Chaque groupe de plaque est isolé de l'autre par des séparateurs. L'ensemble positif est raccordé à la borne positive de la pile et l'autre, le négatif, à la borne négative de la pile. Les ensembles de plaques sont utilisés comme électrodes plutôt qu'une seule tige ou plaque pour chaque électrode. Ceci est dû au fait que deux groupes de plaques, dont les charges sont opposées peuvent produire plus de courant, sur une période de temps plus longue, que des plaques individuelles, étant donné qu'ils contiennent plus de matière chimique active.

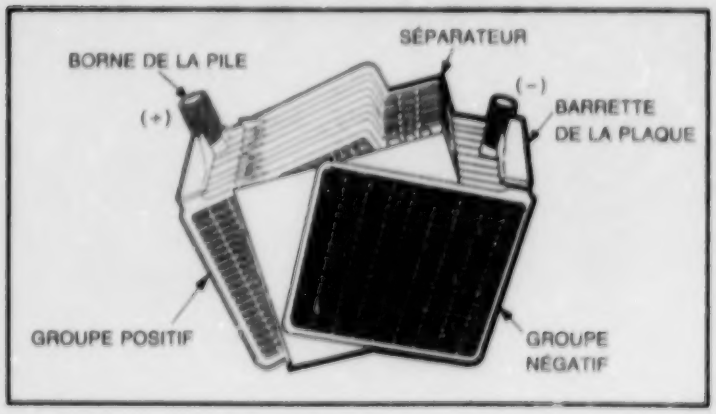


Fig. 7. Chaque électrode d'une pile humide se compose d'un groupe de plaques ou grillages. Ces groupes sont alignés de façon à laisser un espace entre chaque plaque. Celles-ci sont ensuite soudées les unes aux autres pour former un ensemble, positif ou négatif. On insère ensuite un séparateur, fait d'une substance isolante, entre chaque paire de plaques positives et négatives.

12 Vue en coupe d'une pile humide

La **figure 8** est une vue en coupe d'une pile humide. Dans le but d'en faciliter la compréhension, deux plaques seulement sont montrées: une positive et une négative. Elles sont insérées dans un électrolyte formé d'une solution d'acide sulfurique et d'eau. L'acide ainsi que les plaques sont ensuite placés dans un boîtier. Des joints d'étanchéité servent d'isolant entre les bornes et le couvercle du boîtier. Lorsque la pile est chargée ou déchargée, le petit trou sur le dessus du bouchon de ventilation empêche la formation éventuelle de gaz sous pression.

Une pile humide type se présente ainsi: une plaque négative composée de plomb spongieux, une plaque positive constituée de peroxyde de plomb et un électrolyte formé d'une solution d'eau et d'acide sulfurique. Elle fournit un voltage de 2 à 2,2 volts.

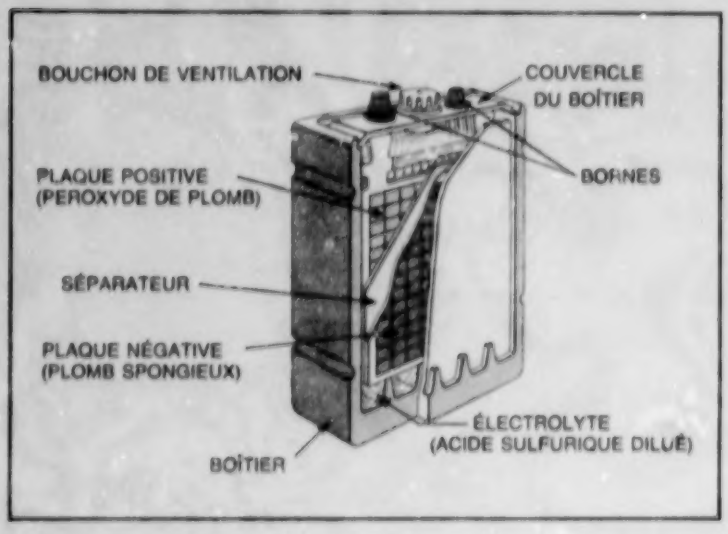


Fig. 8. Le bouchon de ventilation sur la pile humide a deux fonctions: permettre aux gaz de s'échapper durant le rechargement et, si nécessaire, lors de l'entretien, permettre d'ajouter de l'eau.

Exercice de contrôle 2

Faites une courte pause et vérifiez vos connaissances. Comparez vos réponses aux nôtres et faites une révision si nécessaire.

1. Pour fabriquer une pile sèche ordinaire, vous devez utiliser une boîte en (acier, zinc) _____ et une tige de (plomb, carbone) _____ .

2. Si une seule pile ne produit pas le courant nécessaire, un certain nombre de piles doivent être raccordées en (série, parallèle) _____ .

3. Un accumulateur composé de trois piles de 1,5 V raccordées en série, fournit un voltage de _____ .

4. Lequel des quatre raccordements de piles sèches montrés ci-dessous produira le voltage indiqué sur le voltmètre (C.C.)?

5. L'électrolyte dans une pile humide type est en fait une solution de (plomb, acide) _____ et d'eau.

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Réponses à l'exercice 2

1. Zinc, carbone — Section 6, fig. 3
2. Parallèle — Section 7
3. 4,5 V — Section 8
   1,5 + 1,5 + 1,5 = 4,5 V
4. *D* — Section 10
5. Acide — Section 12

Combinaison en série-parallèle de deux groupes de piles de 1,5 V raccordées en série, produisant 3 V c.-à-d. le double de courant d'un seul groupe.

Accumulateurs

13 L'accumulateur

Les piles et l'électrolyte d'un accumulateur sont protégés à l'intérieur d'un bac de plastique ou de caoutchouc à l'épreuve de l'acide. Le bac est muni du même genre de couvercle qui est scellé en place à l'aide d'une substance à l'épreuve de l'acide.

La **figure 9** montre un accumulateur composé de six éléments, dont le voltage est de 12 V. Le voltage résultant de ces éléments raccordés en série est plus élevé que celui produit par un seul élément. Comme dans le cas des piles sèches, ces éléments peuvent être raccordés en parallèle pour accroître l'intensité du courant produit. Ils peuvent également être raccordés en série parallèle pour augmenter l'intensité du courant et le voltage. Les accumulateurs composés d'éléments raccordés en série sont fréquemment utilisés dans les usines. Les combinaisons typiques de ces accumulateurs sont les suivantes: 6 piles = 12 V; 12 piles = 24 V; 24 piles = 48 V; 60 piles = 120 V.

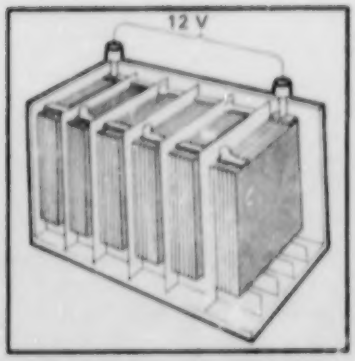


Fig. 9. Lorsque les éléments sont combinés ou groupés pour être raccordés en série, les voltages de tous les éléments individuels équivalent le voltage de l'accumulateur. L'accumulateur illustré ci-dessus est composé de six éléments, chacun pouvant produire 2 V. Le voltage total est donc de 12 V: les six éléments opérant ensemble, leurs voltages respectifs combinés fournissent un voltage de sortie de 12 V.

14 La fabrication d'un accumulateur

Le bac moulé est soit en caoutchouc dur ou en plastique. Tel qu'illustré sur la **figure 10**, les groupes d'éléments sont moulés et font partie

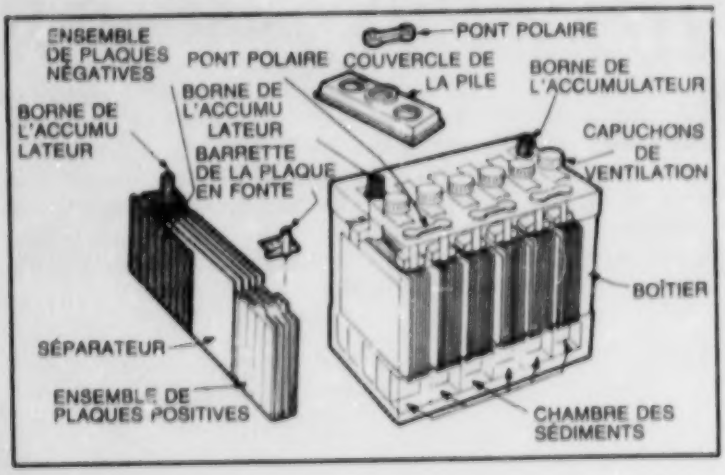


Fig. 10. Il est très important que l'électrolyte ne puisse pas s'échapper d'un accumulateur puisque c'est un produit chimique puissant. Il peut ronger les métaux, les tissus, le cuir, la peau et, en définitive, à peu près n'importe quoi. Il faut être très prudent lorsqu'on manipule des accumulateurs de façon à ne pas renverser d'électrolyte: des brûlures très graves peuvent en résulter.

du bac. Étant donné que le bac est moulé, il est peu probable qu'il y ait une fuite d'électrolyte. De plus, chaque compartiment étant nervuré à la base, les plaques appuient donc uniformément sur le fond. Les compartiments ou chambres à sédiments, sont assez grands pour récupérer les déchets provenant des plaques. Ces résidus sinon, pourraient s'infiltrer entre les plaques et par le fait même, détruire toute action chimique. L'accumulation de cette substance résiduelle, entre les plaques, diminuerait l'efficacité de l'élément. En d'autres mots, l'accumulateur doit généralement être remplacé.

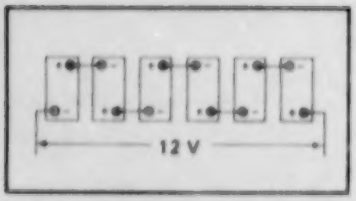


Fig. 11. Lorsque six éléments sont raccordés en série nous avons un accumulateur de 12 V. Remarquez comment le raccordement est fait: la borne positive d'un élément à la borne négative de l'élément suivant et ainsi de suite.

LORSQU'UN ÉLÉMENT OU UN ACCUMULATEUR EST CHARGÉ OU DÉCHARGÉ, IL Y A PRODUCTION D'HYDROGÈNE, GAZ HAUTEMENT EXPLOSIF.

— DÉFENSE DE FUMER
— NE PAS UTILISER D'ALLUMETTES
— NE PAS PROVOQUER D'ÉTINCELLES ÉLECTRIQUES À PROXIMITÉ DES ÉLÉMENTS ET DES ACCUMULATEURS.

15 La méthode de raccordement des éléments

Chacun des éléments composant un accumulateur type est encastré dans le bac de celui-ci à l'usine et les bornes sont raccordées en série. (voir **figure 11**). Un groupe de plaques négatives est raccordé via les bornes de l'élément sur les barrettes des plaques au groupe de plaques positives de l'élément voisin. Les raccordements sont effectués à l'aide de ponts polaires qui sont soudés aux bornes de l'élément (voir **figure 10**).

Étant donné que les piles sont raccordées en série, il y a une borne *positive* (+) à une extrémité de l'accumulateur et une borne *négative* (−) à l'autre extrémité. Celles-ci deviennent donc les bornes de l'accumulateur. Lorsque les ponts polaires ont été mis en place, les couvercles sont scellés tout autour du bac à l'aide d'un composé à l'épreuve de l'acide, afin d'obtenir un joint bien étanche. Ces couvercles sont munis de capuchons de ventilation.

Les électriciens d'entretien peuvent ainsi vérifier les piles et ajouter de l'eau, au besoin, tant et aussi longtemps que l'accumulateur est en service. L'eau ainsi ajoutée remplace celle qui s'est évaporée lorsque l'accumulateur a été chargé ou déchargé.

Les gaz qui se sont formés au cours de ces deux opérations s'échappent par les trous situés sur le dessus des capuchons de ventilation. Afin d'identifier facilement les bornes de l'accumulateur, on peut peindre en rouge la borne positive, ou la marquer d'un *P* ou du signe (+) plus. Quant à la borne négative, elle peut être peinte en vert, ou d'une autre couleur; on peut également la marquer d'un *N* ou du signe moins (−). La borne positive est toujours ROUGE si elle est peinte à l'usine.

16 Accumulateur scellé

Les accumulateurs scellés, c.-à-d. qui ne requièrent aucun entretien, peuvent aussi être utilisés dans votre usine. Ces accumulateurs ne sont pas munis de capuchons de remplissage ou de ventilation. Ils sont complètement scellés à l'exception d'un petit orifice de ventilation.

L'accumulateur scellé est composé d'acide et de plomb. Une solution chimique spéciale, à l'intérieur de l'accumulateur, ne laisse échapper qu'une très petite quantité de gaz si on utilise une tension de charge normale.

De plus, les matériaux spéciaux, incorporés aux plaques, donnent à l'accumulateur une capacité de résistance exceptionnelle contre toute surcharge. La perte d'eau est le résultat d'une surcharge. Étant donné que l'accumulateur est scellé, l'eau ne peut pas s'échapper ou s'évaporer. Au point de vue ENTRETIEN, l'accumulateur scellé exige seulement d'être nettoyé et rechargé.

17 Les câbles et les barrettes de l'accumulateur

L'équipement électrique est habituellement raccordé à l'accumulateur à l'aide d'un câble ou d'une barrette (parfois appelée courroie). Alors que la barrette est faite de fils tressés ou entrelacés, le câble qui est habituellement isolé, est composé de plusieurs petits fils enroulés les uns autour des autres.

Le conducteur est généralement recouvert de caoutchouc naturel ou synthétique. Il arrive parfois que le caoutchouc soit enveloppé d'une ou deux couches de coton tressé ou même de soie. Sur certains types d'accumulateurs, les bornes sont situées sur le côté du bac. Les deux câbles à ce moment-là sont isolés et fixés à l'accumulateur à l'aide de boulons.

Ces boulons sont fixés de façon permanente aux extrémités du câble. Lorsque les bornes sont situées sur le dessus de l'accumulateur, une des bornes peut être reliée à la terre ou au bâti de l'équipe-

Fig. 12. Les attaches utilisées sur la courroie de mise à la terre ou de l'accumulateur peuvent être du type ÉCROU & BOULON ou ANNEAU À RESSORT. Étant donné que les brides d'attache du câble ou de la courroie de mise à la terre sont à l'origine de plusieurs problèmes, celles-ci doivent être fermement fixées sur les bornes de l'accumulateur et ne comporter aucune trace de corrosion.

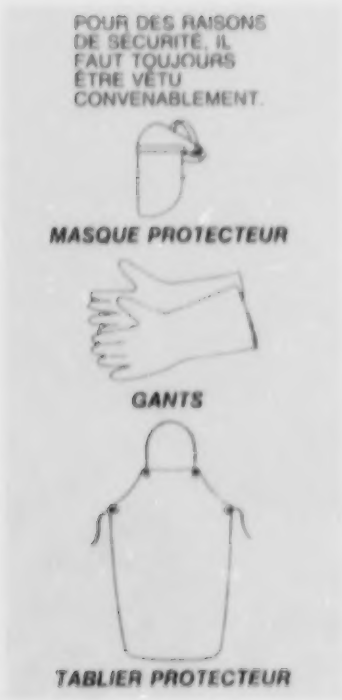


Fig. 13. Cet électricien n'est pas vêtu selon les normes de sécurité pour l'exécution d'un travail sur des accumulateurs. Évitez d'agir comme lui. Lorsqu'il doit nettoyer un accumulateur, un électricien d'entretien conscient de sa sécurité, revêtira un masque protecteur, des gants en caoutchouc ou en néoprène ainsi qu'un tablier protecteur. Cette photographie montre un électricien utilisant une solution de soude pour enlever la corrosion et l'électrolyte renversés. L'étape suivante est de rincer le dessus de l'accumulateur à l'eau courante.

ment à l'aide d'une barrette de mise à la terre (voir **figure 12**). Cette barrette n'est généralement pas isolée.

L'autre borne est raccordée à un câble isolé. Les barrettes et les câbles sont souvent munis de brides d'attache afin d'en faciliter la fixation aux bornes de l'accumulateur. Les manufacturiers fournissent des câbles et des barrettes de grosseur appropriée, capables de transporter le courant requis par l'accumulateur. Si vous devez remplacer une barrette ou un câble défectueux, assurez-vous d'utiliser l'équivalent en grosseur ou en intensité de courant admissible.

18 L'entretien des accumulateurs

Les conseils pratiques qui suivent sont la base de l'entretien des accumulateurs. Ils vous permettront de tirer le meilleur parti possible de votre entraînement en usine. Gardez l'électrolyte au niveau recommandé. Si le niveau est trop bas, ajoutez juste assez d'eau distillée, ou une autre de même nature, de façon à ramener l'électrolyte à son niveau normal, pas plus.

Nettoyez le dessus de l'accumulateur et enlevez les saletés ou la corrosion résultant d'un renversement d'électrolyte. Cette action préventive éliminera toute possibilité de fuite et par la même occasion, empêchera l'accumulateur de se décharger lentement. Ceci est très important pour les accumulateurs dont les bornes sont situées sur le dessus.

Une solution diluée d'eau et d'ammoniaque ou de bicarbonate de soude, est fréquemment utilisée pour le nettoyage (voir figure 13). Le dessus de l'accumulateur est ensuite lavé à grande eau.

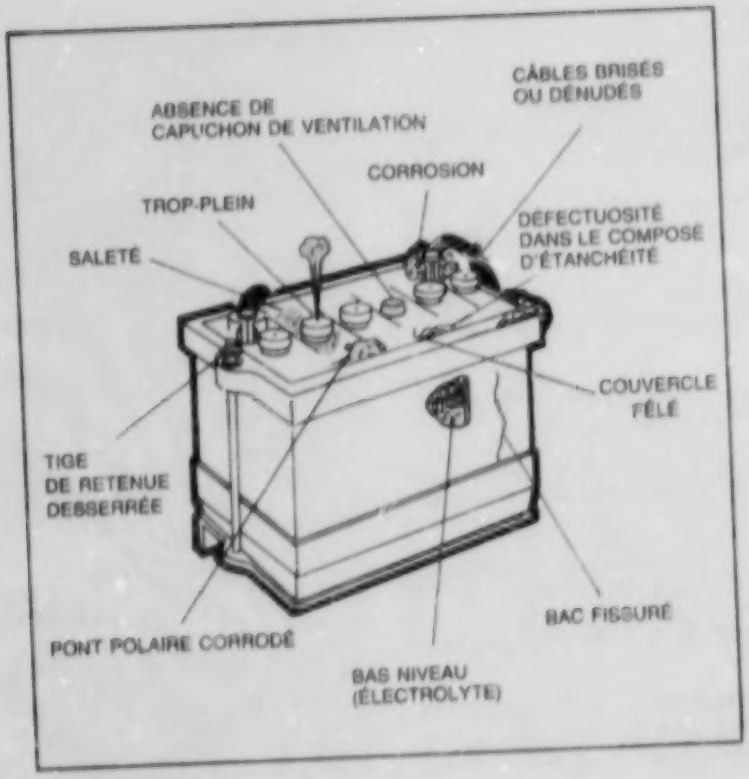


Fig. 14. Un accumulateur, tel celui-ci, dont l'entretien laisse passablement à désirer, sera rapidement hors d'usage. Selon toute vraisemblance, s'il avait été soumis à un entretien approprié, tous ces problèmes auraient facilement pu être évités.

Pendant le nettoyage, le capuchon de remplissage doit être serré à fond afin d'éviter que la solution nettoyante ne pénètre dans l'accumulateur. Il faut également boucher les trous de ventilation. Les câbles de l'accumulateur doivent être propres; s'assurer qu'ils ne sont pas usés ou dénudés. Les brides d'attache des câbles doivent être très bien serrées sur les bornes. Toutes les surfaces de contact doivent être exemptes de saleté et de corrosion. Remplacez les câbles sérieusement endommagés par la corrosion. La **figure 14** montre le genre de problèmes exigeant une action immédiate.

Pour resserrer ou desserrer des brides d'attache, il faut utiliser l'outil approprié, c.-à-d. soit une clef fermée ou des pinces spéciales conçues à cet effet. Si la bride adhère fortement à la borne, ne pas essayer de la sortir de force. Utiliser plutôt un extracteur, un outil destiné à cette fin (voir **figure 15**). Des brosses métalliques sont également disponibles pour le nettoyage des bornes et des brides d'attache. Il ne faut jamais se servir d'un marteau ou user de force excessive lorsqu'il s'agit d'une bride d'attache ou d'une borne d'accumulateur, ceci peut endommager le couvercle. Rechargez l'accumulateur au besoin, ou selon un calendrier d'entretien préventif.

Fig. 15. Il existe plusieurs sortes d'extracteurs de brides. C'est un outil très utile pour enlever les brides d'attache corrodées, qu'elles soient du type à boulon & écrou ou du type anneau à ressort. Lorsque les mâchoires de l'outil sont insérées sous la bride, on tourne la poignée de façon à ce que la vis du centre appuie bien sur la borne de l'accumulateur. Au fur et à mesure qu'on tourne cette poignée, les mâchoires (qui agissent comme des leviers) soulèvent la bride, sans endommager la borne.

Exercice de contrôle 3

Rafraîchissez vos connaissances sur les accumulateurs avec ce court examen et comparez vos réponses aux nôtres. Si vous n'avez pas su répondre correctement, faites une révision.

1. Pour obtenir une intensité de courant plus élevée dans un accumulateur, les piles doivent être raccordées en (série, parallèle) _____ .
2. Comment appelle-t-on les petits compartiments à l'intérieur du bac d'un accumulateur prévu pour la récupération du matériel rejeté par les plaques?
3. L'orifice dans le capuchon de ventilation d'un accumulateur permet l'évacuation (des gaz, de l'électrolyte) _____ .
4. Vous devez raccorder un accumulateur. Une borne est peinte en rouge et l'autre en vert. Sur quelle borne devez-vous raccorder le conducteur négatif?
5. Si un accumulateur n'est pas muni de capuchons de remplissage, vous en déduisez donc que c'est un accumulateur _____ .
6. Lorsqu'un accumulateur est surchargé, il en résultera une (hausse, perte) _____ d'eau.
7. Divisez les problèmes de cet accumulateur, tel qu'illustré à la figure 14, en deux parties: le remplacement et l'entretien. Inscrivez ceux-ci dans la colonne appropriée. N'employez que les lignes nécessaires.

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. Remplacement Entretien

_____ _____
_____ _____
_____ _____
_____ _____
_____ _____
_____ _____
_____ _____
_____ _____
_____ _____
_____ _____
_____ _____

Réponses à l'exercice 3

1. En série — Section 14
2. Chambre à sédiments — Section 14, fig. 10
3. Des gaz — Section 15
4. Borne verte — Section 15
5. Scellé ou exempt d'entretien — Section 16
6. Perte — Section 16
7. Remplacement — Entretien

Corrosion
Salété
Trop plein
Câbles brisés ou dénudés
Corrosion sur le pont polaire
Niveau d'électrolyte trop bas
Absence de capuchon de ventilation

Couvercle de la pile fissuré — Section 18, fig. 14
Détectosité du composé d'étanchéité — Boîtier fêlé

Vérification et charge d'un accumulateur

19 Vérification de l'accumulateur

Un accumulateur doit être vérifié pour trois raisons: 1) est-il bon et stable, 2) a-t-il besoin d'une recharge, 3) doit-il être remplacé? Plusieurs tests peuvent être effectués pour vérifier l'état d'un accumulateur. Il y a entre autres *celui de la densité, sous faible charge, décharge à fort régime et enfin le test de l'hydromètre sous pleine charge*. Cependant le test de décharge à fort régime est le seul pouvant être effectué sur un accumulateur scellé.

20 Le test de la densité

Pour effectuer le test de la densité, on doit prélever un échantillon d'électrolyte dans chacun des éléments à l'aide d'un hydromètre (voir **figure 16**). Mesurer la densité consiste à déterminer le poids d'un certain volume d'une substance comparativement au même volume d'eau. La densité spécifique de l'eau par exemple est l'unité ou 1,000. L'acide sulfurique concentré pèse 1,835 fois plus que le même volume d'eau. La densité de l'acide est donc 1,835. L'électrolyte d'un accumulateur contient de l'acide sulfurique, un produit dangereux. Protégez vos yeux, votre peau ainsi que vos vêtements. Portez un masque protecteur ou des lunettes protectrices pour travailler sur un accumulateur. Évitez de répandre de l'électrolyte sur toute surface peinte ou autre. L'électrolyte corrode rapidement la peinture et autres types de surface.

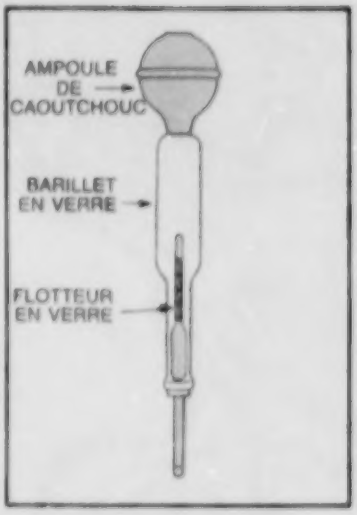


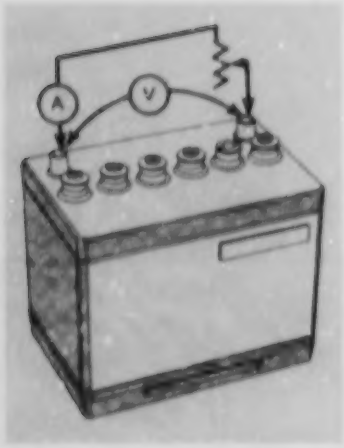
Fig. 16. L'hydromètre est un instrument qui flotte dans des liquides de densités différentes et qui peut être utilisé pour mesurer et comparer les densités relatives des liquides. L'hydromètre mesure la densité directement. Il est composé d'un barillet en verre et d'un flotteur lesté à l'intérieur. Le flotteur est muni d'une tige graduée sur laquelle on peut lire la densité. Lorsque le liquide est aspiré dans le barillet en verre, le flotteur monte ou descend, selon la densité du liquide.

21 Le test sous faible charge et test de décharge à haut régime

Le test de la densité révèle la condition d'un accumulateur, c.-à-d. jusqu'à quel point celui-ci peut être chargé ou déchargé. Toutefois

seuls les tests électriques permettent de connaître exactement la condition et la capacité d'un accumulateur. La vérification du voltage à circuit ouvert par exemple, indique que l'accumulateur produit son voltage normal, *mais* si du courant est consommé, le voltage diminue. (Le voltage à circuit ouvert c'est celui produit par l'accumulateur lorsque ce dernier ne fournit aucun courant à un circuit extérieur).

La capacité d'un accumulateur est habituellement indiquée en ampères-heures. Un ampère-heure est le courant fourni par un ampère durant une heure. Pour déterminer la capacité d'un accumulateur en ampères-heures, on multiplie le nombre d'ampères de courant produit par le nombre d'heures durant lesquelles le courant circule. Par exemple, un accumulateur pouvant fournir 5 A, de façon continue pendant huit heures, a une capacité de 5 × 8 ou 40 ampères-heures. Ainsi un accumulateur pouvant fournir 10 A pendant douze heures, a une capacité de 120 ampères-heures et ainsi de suite.



Un autre de ces tests, appelé vérification sous faible charge, indique la capacité de chaque élément à produire à un certain voltage sous une faible charge. Pour effectuer ce test, on peut utiliser soit un analyseur d'élément ou un vérificateur à pointes de cadmium.

Enfin, il y a la vérification de la décharge à fort régime. Il s'agit de raccorder une lourde charge à l'accumulateur et de mesurer le voltage aux bornes de celui-ci après quinze secondes de décharge. Pour ce dernier test, il faut raccorder une résistance variable (rhéostat) dans un circuit et utiliser un voltmètre et un ampèremètre.

22 Le test de l'hydromètre sous pleine charge

Ce test s'applique seulement aux accumulateurs qui, après vérification soit avec l'équipement adéquat ou à la suite du test de comparaison des éléments quant à la densité, s'avèrent en bon état, mais qui se révéleront défectueux un peu plus tard. Cette vérification s'effectue comme suit:

1. Débrancher l'accumulateur. Régler le niveau de l'électrolyte, si nécessaire, en ajoutant de l'eau distillée.
2. Recharger complètement l'accumulateur à un taux de charge lent.
3. Mesurer la densité de l'électrolyte dans chaque élément. Si les lectures de l'hydromètre sous pleine charge indiquent

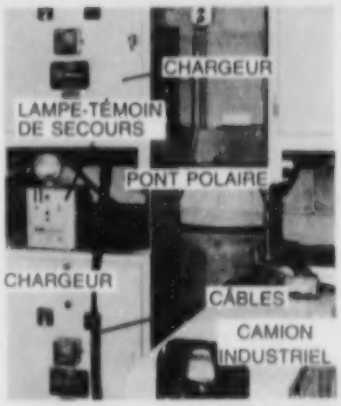
moins que 1,230, l'accumulateur est défectueux et doit être remplacé. (Assurez-vous de corriger la température selon les instructions du manufacturier).

23 Recharge des accumulateurs

Lorsqu'un accumulateur fournit du courant à une charge, son voltage diminue étant donné le changement chimique du matériel à l'intérieur de l'accumulateur. Donc, si celui-ci continue à fonctionner, il ne pourra plus fournir de courant électrique après un certain temps. L'accumulateur est alors déchargé. Recharger un accumulateur c'est lui redonner sa capacité initiale ou maximale à produire du courant. Les méthodes pour recharger les gros accumulateurs sont représentées à la **figure 17**.

Au début, lorsque l'accumulateur est rechargé, le taux de charge sera élevé; ce taux diminuera cependant au fur et à mesure que la charge maximale sera atteinte. Pour recharger un accumulateur, il faut donc renverser le flux du courant à travers l'accumulateur de façon à rééquilibrer les éléments chimiques. Dans une automobile, ceci est fait par l'alternateur, lorsque le moteur tourne. Dans une usine, on obtient le même résultat en raccordant un **chargeur** à l'accumulateur.

Avec la permission de Exide Power Systems Division ESB Incorporated



Avec la permission de Lead Industries Associates, Inc.

Fig. 17. Les accumulateurs des gros camions industriels sont habituellement soulevés à l'aide de palans, tel que montré sur la photographie ci-dessus. Ils sont souvent rechargés de cette façon chaque jour; ainsi l'accumulateur peut être remplacé par un autre de façon à ce que le camion ne soit pas immobilisé.

Un accumulateur de camion industriel peut aussi être rechargé dans le camion, tel qu'illustré sur la deuxième photographie. Les chargeurs sont empilés et l'espace laissé entre chacun d'eux permet à l'air de circuler.

Une lampe-témoin de secours qui s'allume automatiquement en cas de panne électrique, contient un chargeur incorporé. Ceci permet à l'accumulateur de conserver sa pleine charge, dans des conditions normales.

24 Régimes de recharge

Il y a deux méthodes pour recharger un accumulateur: lente et rapide. La différence entre les deux c'est le laps de temps nécessaire pour recharger l'accumulateur. Il faut également tenir compte du courant de charge appliqué à l'accumulateur. La méthode de charge lente exige moins d'ampérage (débit du taux de courant) que la méthode de charge rapide.

Si vous devez manipuler des accumulateurs, vous devez prendre certaines précautions, avant et pendant l'opération de recharge. En agissant ainsi, vous éviterez d'endommager l'accumulateur et de causer des blessures à quiconque effectue cette opération. Avant de recharger un accumulateur, vérifiez les cellules et ajoutez de l'eau,

Avec la permission de Exide Power Systems Division ESB Inc.

Fig. 18. L'électrolyte dans les accumulateurs des camions industriels est habituellement ramené à son niveau normal environ une fois par semaine. D'autres accumulateurs, utilisés moins souvent, sont remplis seulement tous les trois ou quatre mois. L'eau peut être ajoutée à l'aide d'un dispositif de remplissage automatique, tel qu'illustré ci-dessus.

si nécessaire, de façon à ramener l'électrolyte à son niveau normal (voir **figure 18**). Durant la recharge, la température de l'électrolyte ne doit jamais dépasser 52 degrés °C (125 degrés °F).

Mise en garde: Lorsque l'accumulateur est rechargé, l'hydrogène et l'oxygène forment un mélange explosif sous le couvercle des éléments. Au fur et à mesure que ce mélange gazeux s'échappe par les orifices de ventilation, la circulation normale de l'air élimine habituellement tout danger d'explosion. Toutefois s'il y a une circulation d'air insuffisante, ou si la charge de l'accumulateur est plutôt élevée, ce mélange explosif peut s'accumuler à la partie supérieure de l'accumulateur. Une étincelle ou une flamme peut allumer ce mélange gazeux et provoquer une explosion. Toujours s'assurer qu'il n'y ait pas d'étincelles ou de flamme nue dans les environs immédiats de l'accumulateur. Connecter ou débrancher les câbles de l'accumulateur que l'on charge ou décharge, peut provoquer une étincelle dangereuse.

25 Règles pour l'entretien général des accumulateurs

Ces règles dont vous devez tenir compte et vous souvenir sont les suivantes:

1. Les parties extérieures de l'accumulateur doivent être aussi propres et sèches que possible.
2. Les capuchons de ventilation doivent être très bien serrés en tout temps, sauf pour ajouter de l'eau ou prendre la lecture de l'hydromètre ou du thermomètre.
3. Ajoutez de l'eau distillée, ou un autre type approuvé, dans chaque élément avant que le niveau de l'électrolyte ne tombe au point le plus bas autorisé ou spécifié par le manufacturier. NE PAS TROP REMPLIR.
4. Évitez toute surcharge qui pourrait résulter en une accumulation de gaz excessive ou en une température élevée de l'électrolyte.
5. Évitez toute décharge excessive, c.-à-d. supérieure au nombre d'ampères-heures requis.
6. N'ajoutez jamais d'acide à moins que le manufacturier ne le recommande expressément.
7. N'approchez jamais d'allumette ou une autre flamme nue près d'un accumulateur.
8. Maintenez une bonne ventilation dans la chambre ou le compartiment contenant l'accumulateur; ceci préviendra l'accumulation de gaz explosifs et empêchera la température de l'électrolyte de s'élever.

9. Gardez des relevés adéquats.
10. Les connexions de l'accumulateur doivent toujours être propres et bien serrées.
11. Ne déposez aucun outil sur le dessus de l'accumulateur.

Souvenez-vous que l'électrolyte peut détruire les yeux et peut causer des brûlures sérieuses à la peau. Si vous renversez de l'électrolyte sur vous (la peau) présentez-vous immédiatement à un centre d'urgence médicale afin de recevoir les premiers soins. Si c'est possible, lavez-vous avec du bicarbonate de soude et rincez abondamment à l'eau froide. TOUTEFOIS SI L'ACIDE TOUCHE VOS YEUX, NE JAMAIS UTILISER DE BICARBONATE DE SOUDE: RINCER À GRANDE EAU ET CONSULTER UN MÉDECIN SANS RETARD.

Outre les piles sèches et les accumulateurs qui ont fait l'objet de cette leçon, il existe plusieurs autres genres de batteries. Parmi ce,les-ci, il y a les batteries au fer et au nickel, au cadmium-nickel, alcalines, au calcium et au plomb et au mercure. Elles sont similaires à celles déjà décrites, que ce soit pour le fonctionnement, la construction ou leurs applications.

Fig. 19. Une des méthodes utilisées dans certaines usines pour mesurer la hauteur de l'électrolyte dans un élément, consiste à employer un tube de verre, tel qu'illustré ci-dessus. Le tube est inséré dans l'élément jusqu'à ce qu'il touche le dessus de la plaque. La partie supérieure du tube est alors bouchée avec le doigt et le tube est retiré. La hauteur du liquide aspiré dans le tube indique la hauteur de l'électrolyte au-dessus des plaques.

Exercice de contrôle 4

Faites une courte pause et vérifiez certains points importants. Comparez vos réponses aux nôtres et si nécessaire, faites une révision.

1. Lequel des tests suivants peut être effectué seulement sur un accumulateur scellé?
   A. Le test de la densité
   B. Le test sous faible charge
   C. Le test de l'hydromètre sous pleine charge
   D. Le test de décharge à fort régime

2. Si vous utilisez un hydromètre pour mesurer la densité d'un liquide, et que la lecture indique 1,28. Est-ce que ce liquide est (plus léger, plus lourd) _____ que l'eau?

3. Vous avez besoin d'un accumulateur pouvant fournir 6 A, de façon continue, pendant cinq heures. Quelle serait en ampères-heures, la capacité de cet accumulateur?

4. Pour effectuer le test électrique sous faible charge, vous utilisez un instrument appelé un analyseur de _____.

5. Lorsqu'un accumulateur a été utilisé pendant une période de temps prolongée, et ne peut plus fournir le courant électrique requis, diriez-vous que l'accumulateur est chargé ou déchargé?

6. Avant de recharger un accumulateur, les éléments devraient être vérifiés et de _____ doit être ajoutée au besoin.
   A. l'acide
   B. l'eau
   C. l'hydrogène
   D. l'oxygène

7. Lorsque des accumulateurs sont soumis à de fortes charges, il est important de prévoir une bonne ventilation afin de prévenir toute possibilité _____ .

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____

Réponses à l'exercice 4

1. *D* Le test de décharge à fort régime — Section 19
2. Plus lourd — Section 20
3. 30 (5A × 6 h = 30 ampères-heures) — Section 21
4. Élément — Section 21
5. Déchargé — Section 23
6. *B* l'eau — Section 24
7. D'explosion — Section 25

Examen personnel

Lisez attentivement chacun des énoncés suivants et assurez-vous de bien les comprendre. Chaque énoncé est accompagné de quatre mots, phrases ou symboles, dont un seulement est exact. Marquez d'un «X» la lettre qui correspond à votre réponse.

1. Comment appelle-t-on un certain nombre de piles électriques raccordées ensemble?

   A. chargeur
   B. batterie
   C. électrode
   D. électrolyte

2. Comment se nomme la pile électrique que l'on peut normalement recharger?

   A. Pile primaire
   B. Pile sèche
   C. accumulateur
   D. pile à électrodes

3. Quel est le voltage d'un accumulateur composé de cinq piles de 2 V raccordées en série?

   A. 1/2 V
   B. 2 V
   C. 5 V
   D. 10 V

4. Pour constituer un accumulateur capable de fournir 6 A, vous pouvez utiliser six piles de un ampère chacune et les raccorder en:

   A. parallèle
   B. série
   C. parallèle-série
   D. série-parallèle

5. L'électrolyte dans une pile ou un accumulateur standard contient du:

   A. zinc
   B. plomb
   C. chlorure d'ammoniaque
   D. acide sulfurique

6. Un accumulateur standard au plomb de 24 V est composé d'une connexion en série de:

   A. 12 piles
   B. 18 piles
   C. 24 piles
   D. 36 piles

7. Si l'une des bornes de l'accumulateur est raccordée au bâti de l'équipement utilisé, le raccordement peut être effectué à l'aide d'un(e):

   A. collecteur d'électricité statique
   B. d'une tige de mise à la terre
   C. d'une barrette de mise à la terre
   D. d'une bride de fixation

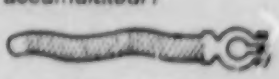
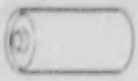
8. Pour laver et nettoyer la saleté ou l'électrolyte renversé sur un accumulateur, vous devez utiliser une solution diluée soit d'eau et de bicarbonate de soude ou d'eau et d'(e):

   A. acide sulfurique
   B. ammoniaque
   C. chlorure d'ammoniaque
   D. diélectrique

9. Que devez-vous faire avant de nettoyer le dessus de l'accumulateur et le laver à grande eau?

   A. Resserrer les capuchons et boucher les orifices de ventilation
   B. Enlever l'électrolyte de chaque élément
   C. Décharger l'accumulateur complètement
   D. Enlever les capuchons des éléments

10. Lequel des dispositifs suivants utilise-t-on pour déterminer le degré de charge d'un accumulateur?

   A. 
   C. 
   B.
   D.

Vous trouverez les réponses à la page 290.

Piles électriques et accumulateurs

AF0103

(Lexiques)

Français	Anglais
Accumulateur	Stor ge Battery
Alimentation d'appoint	Backup Source
Arc électrique	Spark
Barillet	Barrel
Batterie	Battery
Borne	Post
Borne à vis	Binding Post
Bouchon	Cap
Bouchon	Plug
Bouchon de ventilation	Vent Cap
Bride	Clamp
Cartouche	Cartridge
Cellule photoélectrique	Photocell
Cellule photovoltaïque	Photovoltaic Cell
Chambre à sédiment	Sediment Chamber
Chambre de détente	Expansion Chamber
Conducteur souple (barrette)	Strap
Connecteur	Connector
Courant	Current
Courant continu	Direct Current
Décharge à haut régime	Hi-rate Discharge
Densité	Specific Gravity
Entretien	Maintenance
Extracteur	Puller
Flotteur	Float
Fuite	Leackage
Garniture hydrophile	Absorbent Lining
Hydromètre	Hydrometer
Lampe de poche	Flashlight
Perte	Loss
Pile	Cell
Poire en caoutchouc	Rubber Bulb
Rondelle	Washer
Scellé	Sealed
Surcharge	Overcharge
Taux de recharge	Recharging Rate
Tension	Voltage
Trop-plein	Overfill
Vue en coupe	Cutaway View

Anglais	Français
Absorbent Lining	Garniture hydrophile
Backup Source	Alimentation d'appoint
Barrel	Barillet
Battery	Batterie
Binding Post	Borne à vis
Cap	Bouchon
Cartridge	Cartouche
Cell	Pile
Clamp	Bride
Connector	Connecteur
Current	Courant
Cutaway View	Vue en coupe
Direct Current	Courant continu
Expansion Chamber	Chambre de détente
Flashlight	Lampe de poche
Float	Flotteur
Hi-Rate Discharge	Décharge à haut régime
Hydrometer	Hydromètre
Leackage	Fuite
Loss	Perte
Maintenance	Entretien
Overcharge	Surcharge
Overfill	Trop-plein
Photocell	Cellule photoélectrique
Photovoltaic Cell	Cellule photovoltaïque
Plug	Bouchon
Post	Borne
Puller	Extracteur
Recharging Rate	Taux de recharge
Rubber Bulb	Poire en caoutchouc
Sealed	Scellé
Sediment Chamber	Chambre à sédiment
Spark	Arc électrique
Specific Gravity	Densité
Storage Battery	Accumulateur
Strap	Conducteur souple (barrette)
Vent Cap	Bouchon de ventilation
Voltage	Tension
Washer	Rondelle

Les composants électriques et la loi d'Ohm

AF0104

Les composants électriques et la loi d'Ohm

Objectifs d'enseignement

En tant que futur électricien d'entretien d'une usine, vous devrez être en mesure d'interpréter les diagrammes. Cette leçon vous aidera beaucoup à maîtriser cette technique. Vous apprendrez également à identifier quelques composants électriques et leurs symboles schématiques ainsi qu'à appliquer la loi d'Ohm.

À la fin de cette leçon, vous pourrez:

- *dessiner des diagrammes simples.*
- *identifier les symboles de base.*
- *lire les valeurs des résistances codées par couleur.*
- *utiliser la loi d'Ohm pour calculer le voltage, le courant et la résistance.*
- *reconnaître le danger potentiel que présente l'installation de condensateurs.*

Tables des matières

Les composants des circuits électriques

Les symboles standards	113
Les symboles des piles et des batteries	113
Autres composants des circuits électriques	114
Les résistances constantes	114
Les résistances bobinées	115
Codification des résistances par couleurs	117
Valeurs des résistances en watts	120
Potentiomètres et rhéostats	120
Exercice de contrôle 1	122
Les condensateurs	123
Le fonctionnement des condensateurs	123
Types et valeurs des condensateurs	124
Les interrupteurs	125
Genres d'interrupteurs	126
Circuit simple avec interrupteur	127
Circuits et équipement de mise à la terre	128
Exercice de contrôle 2	130

La loi d'Ohm

L'utilisation de la loi d'Ohm pour le calcul du courant	132
L'utilisation de la loi d'Ohm pour le calcul de la résistance	133
L'utilisation de la loi d'Ohm pour le calcul du voltage	133
Exercice de contrôle 3	134

Examen personnel 135

Lexiques 137

Les composants des circuits électriques

1 Les symboles standards

Votre étude des piles et des batteries vous permettra de comprendre des croquis simples, appelés des diagrammes illustrés. Ces illustrations vous montrent les composantes électriques et leurs raccordements, tels qu'ils apparaîtraient sur une photographie. L'utilisation de diagrammes beaucoup plus simples, appelés diagrammes schématiques, ou simplement shémas, s'avère souvent plus pratique.

Les diagrammes schématiques montrent les composants des circuits au moyen de symboles standards et de leurs connexions à l'aide de lignes droites. Un diagramme schématique ne présente pas la forme et la grosseur des composants, ni leur emplacement respectif; seule la position des composants est indiquée dans un circuit.

2 Les symboles des piles et des batteries

La figure 1 montre le diagramme illustré d'une pile électrique raccordée à un voltmètre de même qu'un diagramme schématique d'une pile et d'un volmètre. Le symbole d'une pile se compose de deux traits: un long et un court.

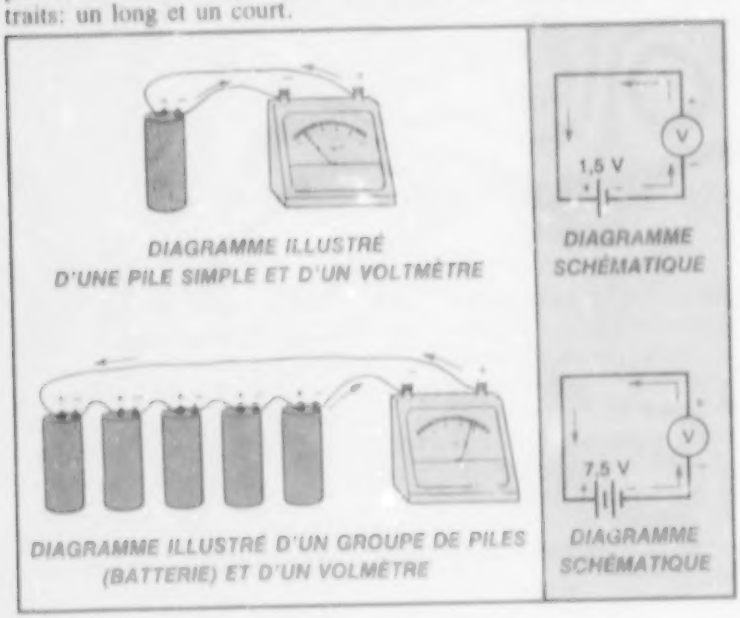


Fig. 1. Comparez les diagrammes illustrés et leurs schémas. La polarité du voltmètre—bornes positive (+) et négative (−) n'est pas toujours indiquée aussi clairement. Toutefois il est primordial que la borne positive soit raccordée au côté positif d'un circuit et la borne négative au côté négatif de ce même circuit.

Il est possible que les bornes négative (−) et positive (+) ne soient pas toujours indiquées tel que le montre ce schéma. Cependant, le trait le plus long représente toujours la borne positive, alors que le trait le plus court indique la borne négative.

Un circuit peut contenir un certain nombre de piles raccordées ensemble (batterie); dans ce cas, il est préférable d'utiliser le symbole identifiant une batterie à piles multiples, comme le montre le diagramme schématique: —|||— c.-à-d. deux traits longs et deux courts. Normalement, le symbole d'une batterie n'est représenté que par deux groupes de traits au maximum, peu importe le nombre de piles contenues dans la batterie ou son voltage. Les lignes droites, dans un diagramme schématique, représentent les fils de branchement ou les conducteurs. Les flèches, très rarement employées, sont utilisées dans le cas présent, pour indiquer la direction du flux d'électrons.

3 Autres composants des circuits électriques

Nous parlerons maintenant des composants les plus connus, utilisés dans les circuits électriques et de leurs symboles schématiques particuliers. Parmi ces composants et leurs symboles, nous étudierons les résistances, les condensateurs, les interrupteurs, les ampoules, le voltmètre et l'ampèremètre. Au fur et à mesure que vous progresserez dans ce cours, vous vous familiariserez également avec d'autres composants.

4 Les résistances constantes

Une résistance est un composant qui résiste plus à un débit de courant qu'un fil conducteur ordinaire. C'est la raison pour laquelle le courant a plus de difficulté à circuler à travers une résistance qu'à travers un conducteur ordinaire. Par conséquent, une résistance limite la quantité de courant circulant dans un circuit. (Tel qu'expliqué dans une leçon précédente, la résistance, qui est représentée par la lettre *R*, est mesurée en ohms.) Il existe une très grande variété de résistances dont la valeur se situe entre une fraction d'ohm et plusieurs millions d'ohms.

En utilisant une résistance de valeur connue, il est possible de contrôler avec précision la tension d'un courant électrique circulant dans un circuit.

Deux types de résistances constantes sont fréquemment utilisés dans les systèmes électriques. Le premier est fabriqué de particules de carbone introduites dans une douille, tel qu'illustré dans la figure 2. Le second, enroulé de fils à haute résistance, est parfois identifié sous le nom de *résistance bobinée*. Celui-ci est composé de nickel et de chrome, d'où son appellation commerciale de Nichrome. Le symbole schématique d'une résistance est également illustré dans la figure 2. Les résistances ont plusieurs fonctions dans un circuit, telles que le contrôle du débit de courant et le réglage du voltage. Vos connaissances, quant à l'application pratique des résistances, se préciseront davantage lors d'études subséquentes et aussi en exécutant votre travail d'électricien.

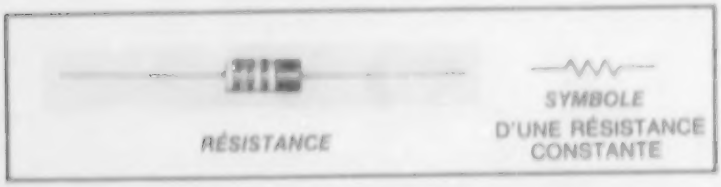


Fig. 2. Cette résistance au carbone est du type résistance constante. Les bandes de couleurs différentes sur ce type de résistance représentent la valeur réelle de la résistance en ohms. À droite, le symbole utilisé s'applique à une résistance au carbone.

Les résistances constantes composées de carbone, ou simplement les résistances au carbone, sont les résistances les plus connues et les plus utilisées dans l'équipement électronique. (se reporter à la figure 2.) La quantité de carbone utilisée ainsi que les caractéristiques électriques de celui-ci déterminent la puissance d'une résistance au carbone.

Les longueurs des résistances au carbone ordinaires varient de 12,7 mm à 25,4 mm (un demi-pouce à un pouce). Ces résistances sont si petites que leur valeur en ohms peut difficilement y être inscrite. C'est une des raisons pour lesquelles les résistances au carbone sont habituellement identifiées par un code de couleur imprimé sur la douille de céramique. Ce code indique la valeur de la résistance en ohms. L'interprétation des codes de couleurs vous sera expliquée ultérieurement dans cette leçon.

Le qualificatif «constante», employé pour décrire une résistance ou une autre composante signifie que sa valeur intrinsèque ne peut être changée ou altérée; une résistance constante garde toujours la même valeur.

5 Les résistances bobinées

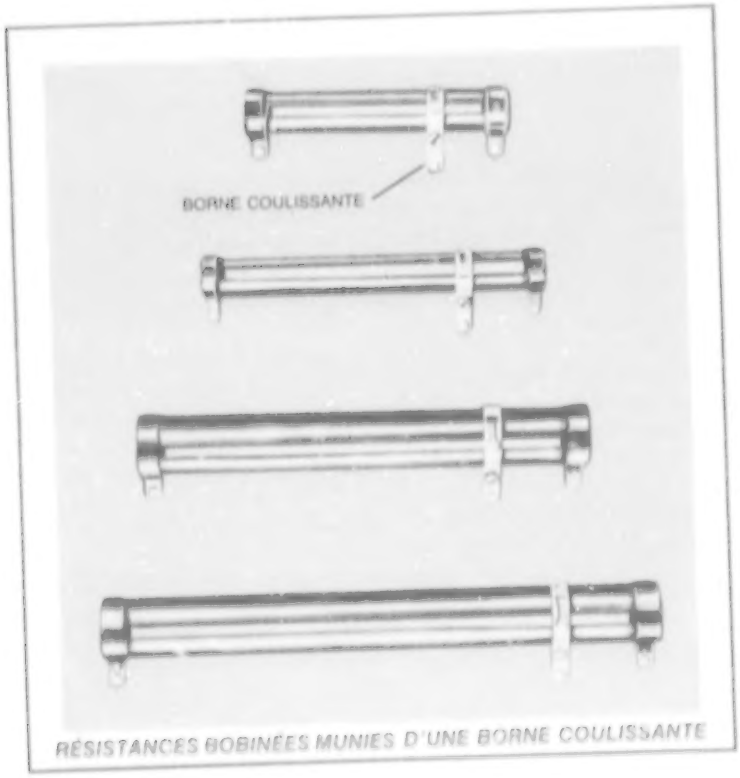
Les résistances bobinées sont fabriquées de la façon suivante: des fils à haute résistance sont enroulés un certain nombre de fois autour

d'un tube de céramique. Par la suite, on applique une couche d'émail afin de bien recouvrir les fils et le tube de céramique. Les connexions sont faites à chaque extrémité. Plus le diamètre du fil est petit, plus la résistance augmente. La résistance augmente également en fonction du nombre de tours de fils. La valeur réelle d'une résistance bobinée est habituellement indiquée sur la résistance.

Les résistances bobinées et au carbone sont représentées par le même symbole schématique. La longueur des résistances bobinées varie de 25 mm à 300 mm (1" à 12") ou plus, et leur diamètre de 1,6 mm à 25 mm (1/16" à 1").

La figure 3 illustre quelques exemples de résistances bobinées. Chacune de ces résistances est munie d'une borne coulissante qui vous permet de choisir la valeur de la résistance désirée. Certaines résistances bobinées sont munies de bornes fixes qui déterminent des valeurs nominales fixes entre les connexions.

Fig. 3. Ces résistances bobinées sont munies d'une borne coulissante, aussi appelée borne intermédiaire. Si le raccordement est fait à une des extrémités et à cette borne coulissante, vous pouvez alors choisir la valeur de la résistance voulue en faisant glisser cette borne intermédiaire au point désiré.



RÉSISTANCES BOBINÉES MUNIES D'UNE BORNE COULISSANTE

La figure 4 illustre les symboles utilisés pour les résistances fixes et variables. Le symbole d'une résistance variable s'emploie autant pour les résistances bobinées à borne coulissante que pour toutes les

autres résistances variables, appelées potentiomètres et rhéostats; ceux-ci vous seront expliqués dans un chapitre ultérieur.

Lorsque le courant électrique circule dans une résistance, il y a production de chaleur. **Les résistances bobinées sont souvent employées comme *éléments chauffants*** dans la fabrication de chaufferettes et de séchoirs industriels, de fers à souder, de fournaises ainsi que d'un très grand nombre d'accessoires de chauffage industriels. Les gros éléments chauffants, composés d'un fil à haute résistance, sont souvent protégés par un tube métallique dont le fil est isolé. L'unité de surface d'une cuisinière électrique est un exemple typique de ce genre de revêtement.

Dans d'autres circuits ou équipements, nécessitant des résistances, la production de chaleur n'est pas vraiment le but de l'utilisation de celles-ci. En réalité, une chaleur excessive affecte grandement l'équipement électrique. **Une résistance qui surchauffe peut se détériorer complètement, provoquer un incendie ou même endommager l'équipement.** Si l'on fait face à un problème de chaleur excessive, on doit alors utiliser des résistances dont la capacité est plus grande. Plus la surface d'une résistance est grande, plus la chaleur se dissipera rapidement.

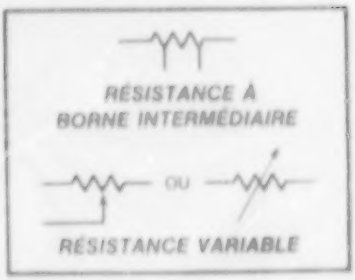


Fig. 4. Les mêmes symboles sont employés pour désigner les résistances bobinées et au carbone.

6 Codification des résistances par couleurs

La figure 5 illustre plusieurs petites résistances, dans leurs dimensions réelles. À gauche, six résistances au carbone et à droite, deux résistances bobinées. Les résistances au carbone peuvent être fabri-

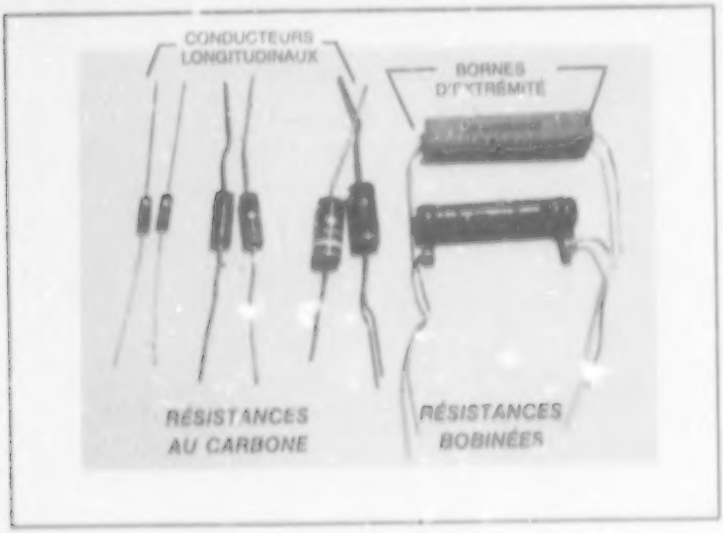


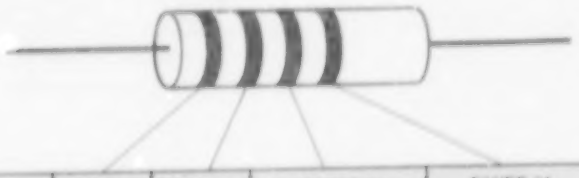
Fig. 5. Les résistances au carbone sont entourées de bandes de couleurs et munies de conducteurs longitudinaux. Les résistances bobinées sont munies de bornes d'extrémité et sont recouvertes d'une couche d'émail; leur valeur réelle est clairement indiquée sur l'enveloppe.

quées pour offrir une résistance aussi basse qu'une fraction d'ohm et aussi élevée que plusieurs millions d'ohms ou plusieurs mégohms. (Un mégohm équivaut à un million d'ohms). Une des valeurs les plus élevées des résistances au carbone se situe à 22 MΩ (mégohms) ou 22 000 000 Ω (ohms).

Les bandes de couleurs entourant une résistance au carbone indiquent sa valeur. Ces bandes sont identifiées par un code de couleurs standard. La codification est basée sur le principe que tout nombre peut être exprimé très près de sa valeur réelle en *arrondissant* celle-ci selon les deux premiers chiffres composant ce nombre. Par exemple: 47 426 peut être arrondi à 47 000, ce qui demeure quand même dans la limite de 1 % (pour cent) de la valeur réelle. Donc, en utilisant seulement deux chiffres et le nombre de zéros requis, il est possible d'exprimer la valeur de n'importe quel nombre, en restant tout de même assez près de sa valeur réelle.

Dans ce genre de codification par couleurs, tous les chiffres de 0 à 9 sont représentés par une couleur différente: *noir* pour 0, *brun* pour 1, *rouge* pour 2, etc. (voir figure 6.). Les deux premières bandes indiquent les deux chiffres de la valeur de la résistance. La couleur de la troisième bande indique le nombre de zéros qui suivent ces deux chiffres. Ceci est également illustré sur la figure 6. La quatrième bande (s'il y en a une) de couleur argent ou or, donne la *tolé-*

COMMENCER AVEC LES BANDES DE L'EXTRÉMITÉ GAUCHE



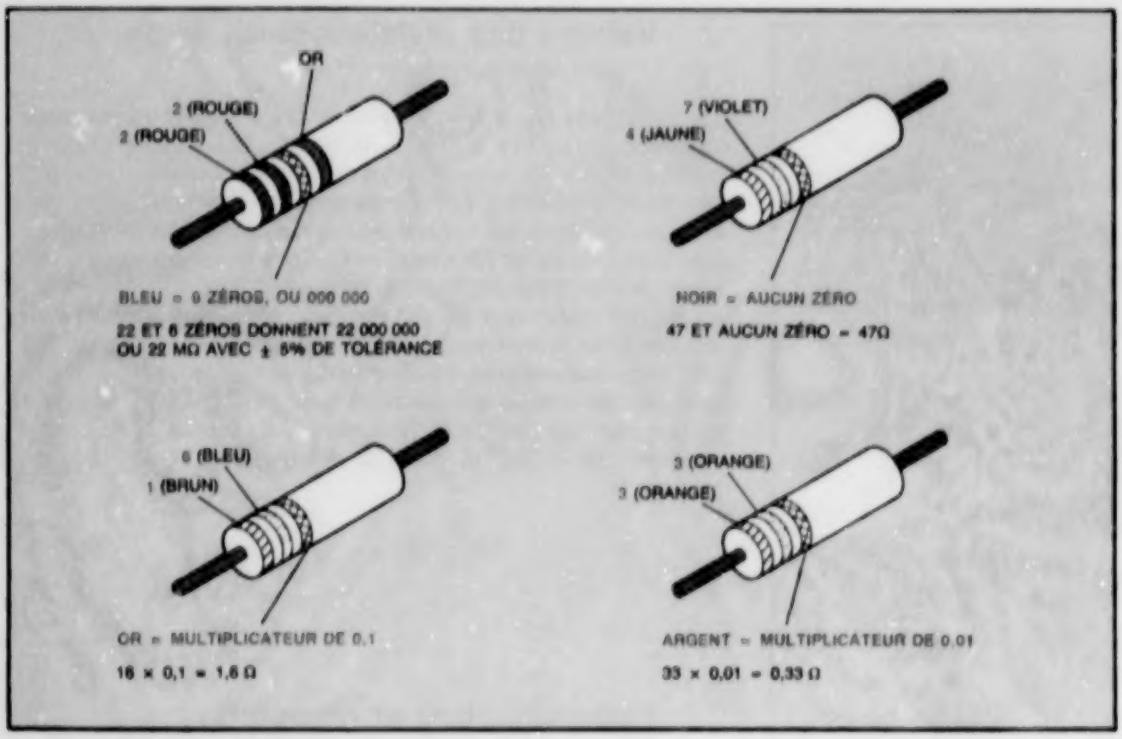
COULEUR	BANDE #1	BANDE #2	BANDE #3		BANDE #4
	PREMIER CHIFFRE	DEUXIÈME CHIFFRE	NOMBRE DE ZÉROS		TOLÉRANCE
NOIR	0	0	aucun		
BRUN	1	1	un	0	1%
ROUGE	2	2	deux	00	2%
ORANGE	3	3	trois	000	3%
JAUNE	4	4	quatre	0000	4%
VERT	5	5	cinq	00000	
BLEU	6	6	six	000000	
VIOLET	7	7	sept	0000000	
GRIS	8	8	huit	00000000	5%
BLANC	9	9	neuf	000000000	10%
OR			multiplicateur 0.1		(ABSENCE D'UNE
ARGENT			multiplicateur 0.01		4e BANDE SIGNIFICATIVE = 20%)

Fig. 6. Ce tableau vous indique les tolérances et les valeurs des résistances codifiées par couleurs.

rance en pourcentage. La tolérance indique la différence entre la valeur indiquée et la valeur réelle. La figure 6 explique comment interpréter la codification des couleurs.

Prenons par exemple la résistance de 22 MΩ sur la figure 7. Elle a trois bandes de couleurs, soit rouge, rouge et bleu, ce qui se traduit par 2,2 et six zéros, ou 22 000 000. Une quatrième bande de couleur or indique qu'une tolérance de 5% a été maintenue au cours de la fabrication. Cette tolérance de 5% de 22 MΩ équivaut à 1,1 MΩ. La résistance réelle pourrait donc être de 1,1 MΩ, *supérieure* ou *inférieure* par rapport à la valeur indiquée sur les trois premières bandes. La valeur réelle de la résistance peut être aussi basse que 22 − 1,1 = 20,9 MΩ ou aussi élevée que 22 + 1,1 = 23,1 MΩ.

Fig. 7. Ces exemples montrent comment trouver la valeur des résistances selon le code de couleurs. la 4e bande (s'il y a en une) donne la précision de la valeur qui y a été inscrite (valeur réelle indiquée) lors du choix ou de la fabrication de la résistance. Ainsi si la résistance de 47 ohms a une 4e bande de couleur argent, sa tolérance sera de 10% ou 4,7 ohms. Par conséquent, la valeur de la résistance peut varier de 42,3 ohms à 51,7 ohms.



La deuxième résistance de la figure 7 est un autre exemple. Elle a trois bandes: jaune, violette et noire. Ces bandes indiquent 47 et aucun zéro. La valeur de la résistance est donc de 47 Ω. Selon le tableau de la figure 6, vu l'absence d'une quatrième bande, la tolérance est de 20%.

Les résistances dont la valeur est moindre que 10 Ω peuvent être identifiées par une troisième bande de couleur or ou argent.

Si la troisième bande est de couleur or, le chiffre représenté par les deux premières bandes doit être multiplié par 0,1. Si la troisième bande est de couleur argent, le multiplicateur est 0,01.

La troisième résistance illustrée à la figure 7 est un exemple de ce qui précède. Les trois bandes de couleurs (brun, bleu et or) offrent une résistance de 16 × 0,1 ou 1,6 Ω. Ainsi, la dernière résistance illustrée sur la figure 7, ayant des bandes de couleurs orange, orange et argent, aurait une valeur de 33 × 0,01 = 0,33 Ω.

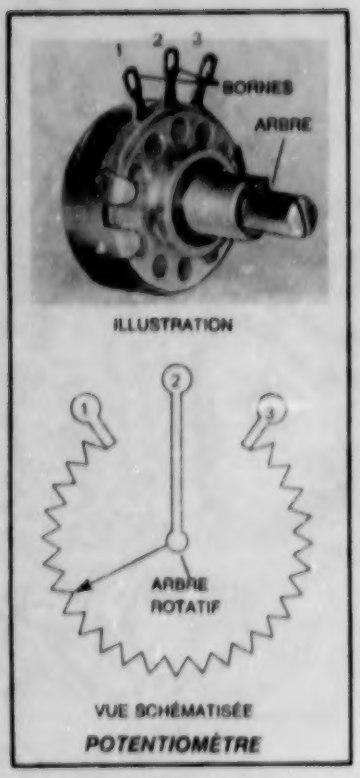


Fig. 8. Un potentiomètre de ce genre a habituellement un pouce de diamètre et est muni d'un élément résistant au carbone. La vue schématisée illustre le raccordement d'une borne centrale à un contact mobile qui se déplace sur l'élément résistant.

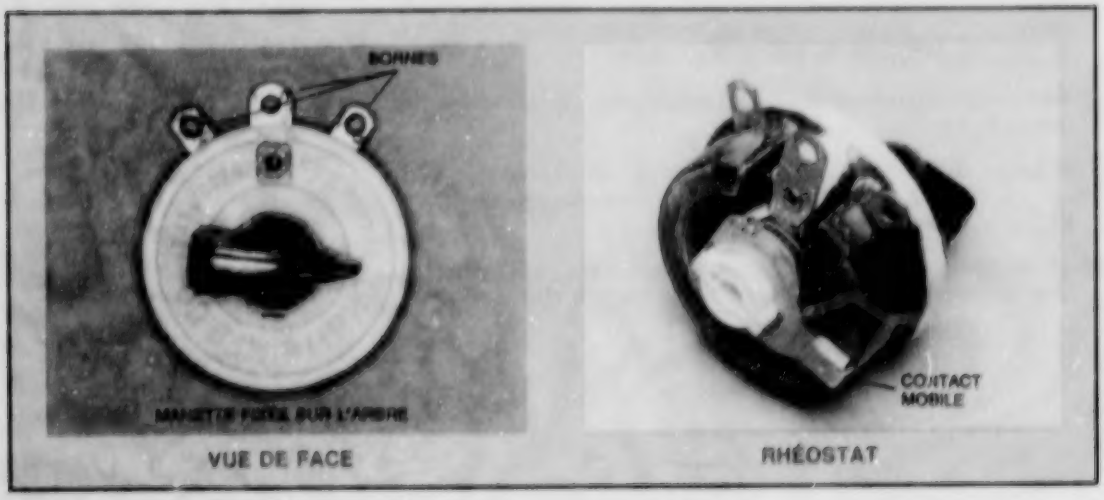
7 Valeurs des résistances en watts

Les dimensions physiques d'une résistance indiquent sa puissance électrique *mesurée en watts*. La puissance électrique indique la quantité de courant pouvant circuler à travers une résistance sans que celle-ci surchauffe. Les grosses résistances peuvent dissiper plus de chaleur que les petites résistances. Les résistances au carbone (grandeur nature) telles qu'illustrées sur la figure 5, ont les valeurs suivantes: la plus petite: 1/2 watt – la suivante: 1 watt et la plus grosse: 2 watts. La valeur en watts des résistances bobinées (illustrées sur la figure 5) est inscrite juste à côté des valeurs de la résistance. Les résistances bobinées peuvent absorber des courants plus élevés et dissiper plus de chaleur que les résistances au carbone. Une valeur typique peut être inscrite de la façon suivante: 6 KΩ 7W, c.-à-d. 6 kilohms, ou 6000 Ω et 7 W (1K (kilohm) = 1000 Ω).

8 Potentiomètres et rhéostats

Les potentiomètres et les rhéostats sont deux types de résistances variables. Leur élément résistant peut être soit un mélange de carbone ou un fil de résistance. Les potentiomètres et les rhéostats présentent habituellement une forme arrondie. Les potentiomètres peuvent avoir un diamètre mesurant aussi peu que 12,7 mm (un pouce et demi) et le carbone est leur élément résistant. La figure 8 montre un exemple typique de potentiomètre.

Les rhéostats qui sont plus gros que les potentiomètres, peuvent avoir un diamètre de 150 à 200 mm (6″ à 8″) ou plus. Leur élément résistant, dans la majorité des cas, est constitué d'un fil, la figure 9 illustre un exemple typique de rhéostat dont la dimension va de petite à grande. Les circuits servant à transporter des courants élevés sont généralement équipés d'un rhéostat.



Les potentiomètres et quelques rhéostats sont munis de trois bornes: deux fixes et une mobile. La borne mobile est en fait une glissière montée sur un arbre rotatif. Lorsque l'arbre pivote, la résistance change entre la glissière et une des bornes fixes.

Quelques rhéostats sont munis de deux bornes seulement: une qui est raccordée à une extrémité de l'élément résistant et l'autre au contact mobile. Les potentiomètres et les rhéostats sont représentés par le même symbole que celui qui est utilisé pour les résistances bobinées munies d'une borne coulissante.

Fig. 9. Les rhéostats sont plus gros que les potentiomètres. L'élément résistant du rhéostat est composé d'un fil et la borne centrale est raccordée au contact mobile. Habituellement, les rhéostats plus gros ont seulement 2 bornes: une qui est raccordée à une extrémité de l'élément résistant et l'autre au contact mobile.

Exercice de contrôle 1

Faites une courte pause pour revoir certains points importants. Si vos réponses ne correspondent pas aux nôtres, vous en découvrirez la raison en vous reportant aux articles traitant du sujet mentionné.

Vos réponses

1. Dans le symbole schématique identifiant une pile électrique, la borne _____ est représentée par le trait le plus long et la borne _____ négative par le trait le plus court.

1. _____

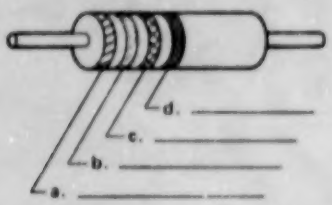
2. Certaines résistances fixes sont composées de particules de (chrome, carbone) _____ .

2. _____

3. D'autres résistances, de type standard, sont fabriquées d'un _____ qui est enroulé sur un tube de céramique et est recouvert d'une couche d'émail.

3. _____

4. La résistance illustrée ci-dessous a une valeur de 27 000 Ω et une tolérance de 10%. Indiquez la couleur de chaque bande.



4. *a.* _____
b. _____
c. _____
d. _____

5. Quelle est la tolérance d'une résistance ne possédant pas de quatrième bande?

   A. 5%
   B. 10%
   C. 15%
   D. 20%

5. _____

6. Certaines résistances sont plus grosses que d'autres, ce qui leur permet de dissiper plus de _____ .

6. _____

7. Nommez deux genres de résistances variables.

7. _____
_____

Réponses à l'exercice 1

1. positive
   négative — Section 2
2. carbone — Section 4
3. fil de carbone — Section 5
4. *a.* rouge — *b.* violet — *c.* orange — *d.* argent — Section 6
5. *D.* 20% — Section 6
6. Chaleur — Section 5
7. potentiomètres
   rhéostats — Section 8

9 Les condensateurs

Les condensateurs sont des composants pouvant emmagasiner une charge électrique. Le condensateur se charge lorsque le courant circule dans celui-ci. L'importance de la charge pouvant être absorbée par le condensateur dépend de sa capacité électrostatique ou de sa facilité à emmagasiner une charge.

10 Le fonctionnement des condensateurs

Fondamentalement, un condensateur consiste en deux plaques, (voir figure 10) conductrices d'électricité et séparées par une substance isolante. L'air en effet, sert de matériau non conducteur dans certains condensateurs. Le matériau isolant ou non conducteur placé entre les plaques d'un condensateur, que ce soit de l'air ou toute autre substance, s'appelle *diélectrique*. La capacité d'un condensateur dépend de trois variables: 1) la surface de ses plaques; 2) la distance entre les plaques, c.-à-d. l'épaisseur du diélectrique; 3) le genre de diélectrique. La capacité d'un condensateur, muni de grandes plaques montées très près l'une de l'autre, sera supérieure à celle d'un condensateur dont les plaques sont plus petites (mais avec le même diélectrique) ou plus éloignées.

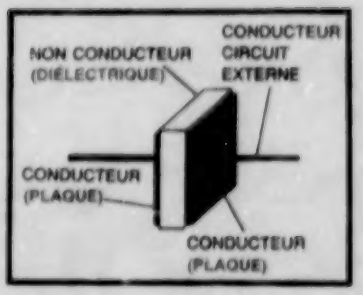


Fig. 10. Les pièces d'un condensateur sont illustrées ci-dessus. Vous pouvez facilement fabriquer vos propres condensateurs. Tout ce dont vous avez besoin ce sont deux plaques de métal et un diélectrique entre celles-ci.

L'importance de la charge pouvant être emmagasinée par un condensateur dépend de la capacité électrostatique de celui-ci. La charge dépend également du voltage appliqué au condensateur. Si une tension continue est appliquée aux bornes du condensateur, ce dernier se chargera à pleine capacité, en très peu de temps. Même un condensateur de grande dimension se chargera dans une fraction de seconde sous l'effet d'un courant continu.

Lorsqu'un condensateur a été complètement chargé, celui-ci agit comme un circuit ouvert au courant direct. En d'autres mots, lorsque le condensateur est sous l'effet d'un voltage «C.C.», le courant cesse de circuler dans la dérivation du circuit contenant le condensateur. Un condensateur oppose une certaine résistance connue sous le nom de réactance de capacité au courant alternatif. Toutefois, ce

principe ne s'applique pas s'il s'agit d'un voltage «C.A.» (courant alternatif). Une leçon subséquente vous renseignera davantage sur ce sujet.

11 Types et valeurs des condensateurs

Les condensateurs, tels qu'illustrés à la figure 11, portent habituellement le nom du diélectrique employé ou de leur forme apparente. Si vous vous reportez à la figure 11 par exemple, les condensateurs fixes à l'huile, à l'électrolyte, en mica et en céramique, sont identifiés en fonction de leur type de diélectrique. Par contre, les condensateurs du type boîte, tubulaire et à disque, sont nommés d'après leur forme apparente. Les symboles représentant les condensateurs fixes sont également indiqués sur la figure 11.

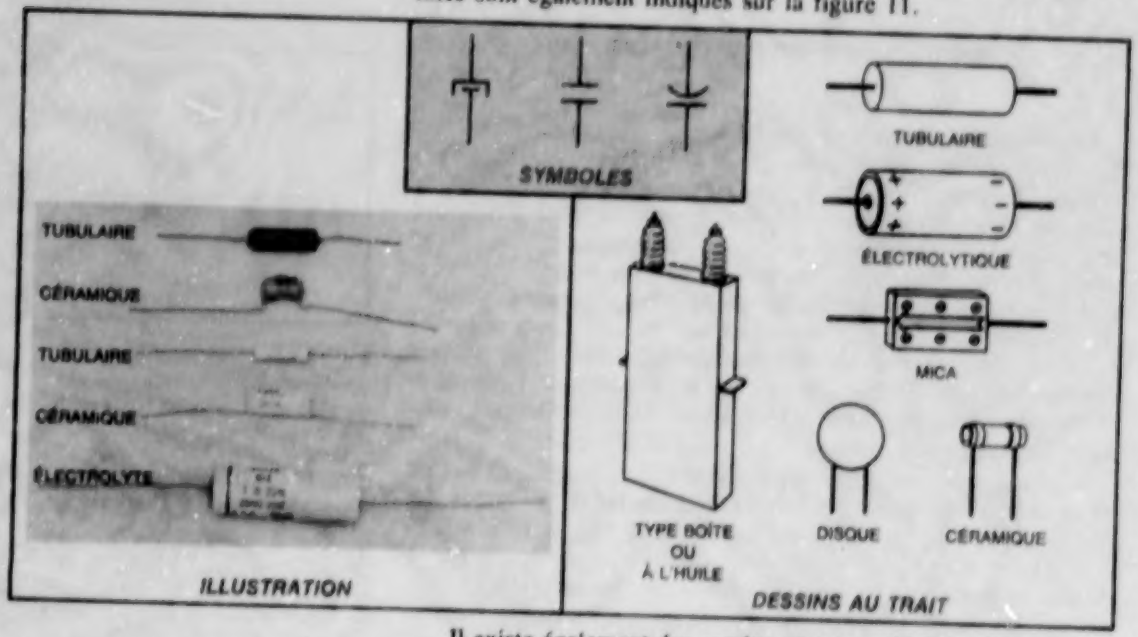


Fig. 11. Les condensateurs se présentent sous plusieurs formes et sont fabriqués de différents matériaux, tel qu'illustré ci-dessous. Les symboles illustrés ici sont utilisés pour les condensateurs fixes. Celui de gauche est le plus connu, mais les autres sont aussi fréquemment employés.

Il existe également des condensateurs variables, tel l'exemple type illustré sur la figure 12. Dans cet exemple, l'air compris entre les deux ensembles de plaques d'aluminium agit comme diélectrique. Un de ces ensembles est fixe alors que le second est relié à un arbre peut être tourné et mis en prise avec le premier ensemble. La capacité d'un condensateur variable peut donc être modifiée en variant la grosseur des plaques de la surface mise en prise.

Les condensateurs sont identifiés d'après leur capacité et le voltage maximal qu'ils peuvent supporter. L'unité de base de la capacité est le farad, dont le symbole est la lettre F. Règle générale toutefois, les condensateurs sont identifiés par des unités plus petites, soit le microfarad ou le micromicrofarad ou picofarad. Un microfarad équivaut à 0,000001 farad. Un micromicrofarad ou picofarad équivaut à 0,00001 microfarad. Comme les résistances, les valeurs des condensateurs possèdent certaines tolérances.

Si les condensateurs sont soumis à des voltages supérieurs à leur capacité maximale, il y a de fortes chances que le diélectrique cesse de fonctionner et que les plaques soient court-circuitées.

Les valeurs typiques d'un condensateur sont imprimées sur le revêtement électrolytique de celui-ci. (Voir figure 11). Les inscriptions 0,1 ± 20% et 2000 VCD (VDC) signifient que le condensateur a une tolérance de 0,1 mμF ± 20% et peut être soumis à un voltage maximal de 2000 V (courant continu).

Les valeurs typiques d'un condensateur sont imprimées sur le revêtement électrolytique de celui-ci. (Voir figure 11). Les inscriptions 0,1 ± 20% et 20000 VCD (VDC) signifient que le condensateur a une tolérance de 0,1 μF ± 20% et peut être soumis à un voltage maximal de 2000 V (tension continue).

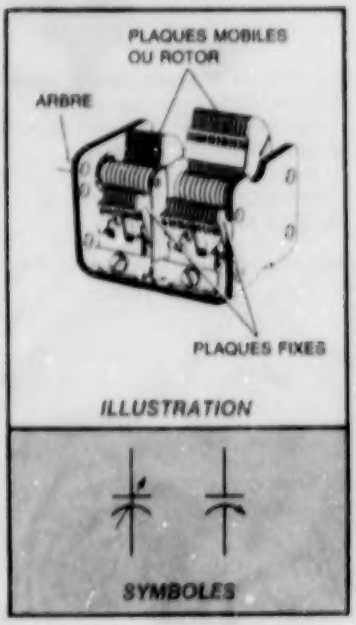


Fig. 12. Le condensateur double ou en deux sections, tel qu'illustré, comprend deux ensembles de plaques. Ces deux condensateurs variables et indépendants sont reliés mécaniquement. Ils évoluent simultanément lorsque l'arbre est actionné. Ceci est un exemple type de condensateurs utilisés pour la syntonisation des radios, des transmetteurs ainsi que des appareils de mesure sensibles aux fréquences.

12 Les interrupteurs

Nous connaissons tous au moins deux types d'interrupteurs. La clé de contact d'une automobile actionne l'interrupteur du circuit de démarrage. Un autre genre d'interrupteur est celui qui permet de contrôler l'éclairage du lieu de travail dans votre usine.

Un interrupteur est un dispositif simple utilisé pour couvrir et fermer un circuit électrique. Lorsque vous allumez une ampoule électrique, l'interrupteur est ouvert et le circuit est fermé. Ceci signifie que l'interrupteur complète un chemin conducteur, ou un circuit, et que le courant circule à partir de la source jusqu'à une ampoule électrique, puis retourne à la source. En circulant dans le filament de l'ampoule, le courant chauffe celui-ci suffisamment pour que l'ampoule brille et diffuse de la lumière. Lorsque l'interrupteur est fermé, le circuit est alors ouvert. Le trajet du courant étant interrompu, celui-ci ne peut donc plus circuler.

13 Genres d'interrupteurs

Les interrupteurs peuvent être manuels ou automatiques. La figure 13 illustre quelques-uns des nombreux modèles d'interrupteurs actuellement disponibles. Leurs symboles schématiques y sont également donnés.

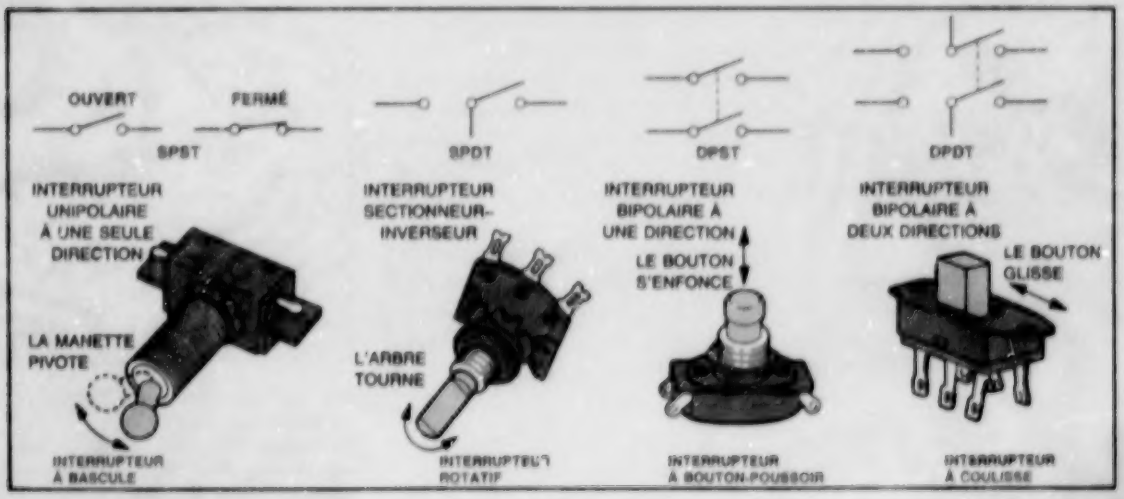


Fig. 13. Voici quatre interrupteurs simples. «Bipolaire» signifie que l'interrupteur peut contrôler deux circuits différents. «À deux directions» signifie que l'interrupteur peut être fermé à partir de deux positions.

L'interrupteur unipolaire à une seule direction est très simple. Il est muni d'une plaque mobile qui effectue ou rompt le contact avec une borne fixe ou un pôle. Cet interrupteur à deux positions (ouvert ou fermé) peut être utilisé pour ouvrir ou fermer un fil seulement dans un circuit. L'interrupteur à bascule illustré à la figure 13 est du type unipolaire standard, à une seule direction (ouvert ou fermé). Les symboles représentent l'interrupteur dans les deux positions.

Il y a aussi l'interrupteur bipolaire à une direction. Celui-ci, également à deux positions (ouvert ou fermé) et composé de deux ensembles de contact séparés, peut ouvrir ou fermer deux circuits à la fois. Cet interrupteur, tel qu'illustré à la figure 13, est du type à *bouton-poussoir*.

L'interrupteur sectionneur-inverseur, tel qu'illustré, a également deux positions. Lorsque la plaque mobile (ou contact) est déplacée sur le côté, le circuit se ferme entre la borne centrale et la borne d'extrémité. Certains de ces interrupteurs ont une position centrale, ou neutre, ce qui permet aux 2 circuits de demeurer ouverts.

En vous reportant à l'illustration de l'interrupteur rotatif, vous constaterez que les contacts sont effectués en tournant l'arbre vers la gauche ou vers la droite.

L'interrupteur bipolaire à deux directions peut mettre ou interrompre le contact entre deux fils en même temps. Il est muni de six bornes et peut avoir deux ou trois positions. Lorsqu'il y a une position neutre au centre, les deux circuits sont ouverts. Si le contact se fait à gauche, les circuits sont fermés entre les bornes d'extrémité sur un côté et celles du centre. Si le contact se fait à droite, les circuits sont alors fermés sur le côté opposé. En vous reportant à l'illustration de l'interrupteur à coulisse, vous constaterez que les contacts sont effectués en déplaçant le bouton à glissière vers la gauche ou vers la droite. Tous les circuits sont ouverts lorsque le bouton est placé dans la position neutre, au centre.

N.B.— Le nombre de directions indique les positions pouvant fermer les circuits. La position «neutre» au centre, n'est pas calculée comme une direction.

14 Circuit simple avec interrupteur

Sur la figure 14, nous avons un schéma comprenant un accumulateur, un interrupteur unipolaire à une seule direction, un voltmètre, un ampèremètre et une ampoule incandescente.

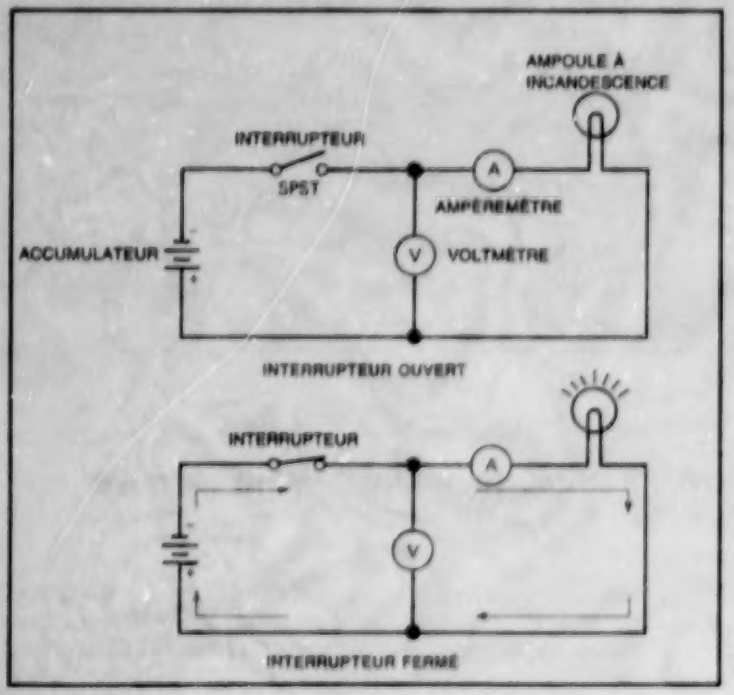


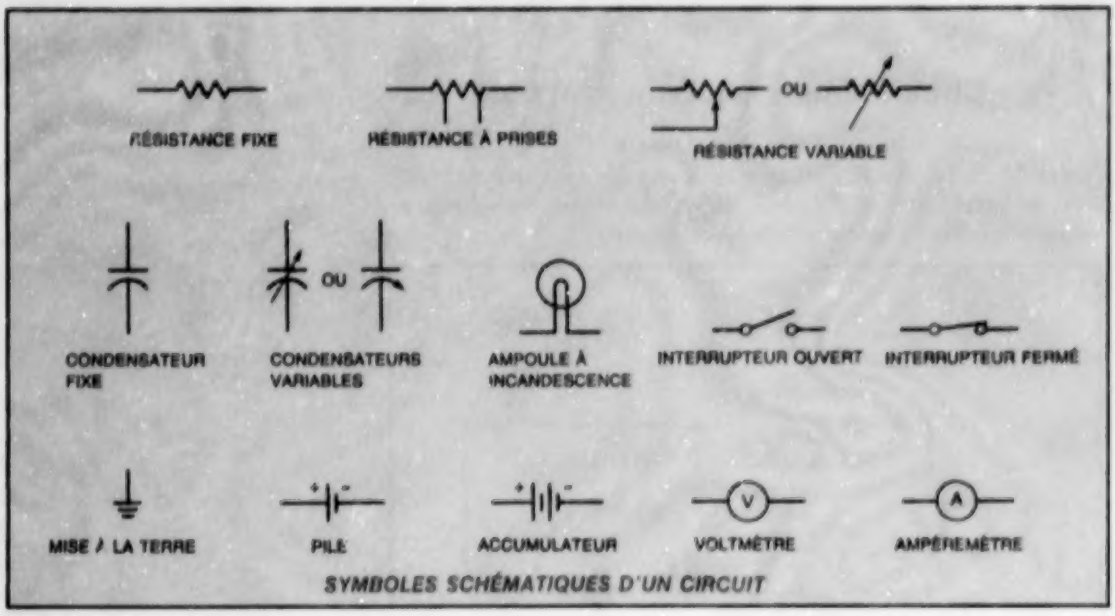
Fig. 14. Il faut toujours tenir pour acquis que lorsque l'interrupteur est fermé, il y a tout de même un peu de courant qui circule dans le voltmètre. Toutefois cette quantité étant négligeable, elle n'est pas considérée.

N.B. — Les points noirs aux extrémités des conducteurs du voltmètre symbolisent les connexions.

Un ampèremètre, dont le symbole est A, indique la quantité de courant (nombre d'ampères) circulant dans un circuit. Veuillez vous reporter au circuit supérieur illustré à la figure 14: l'interrupteur étant ouvert, le courant ne circule pas. Donc l'ampèremètre et le voltmètre, dont le symbole est V, indiquent une lecture «zéro». Toutefois dans le même circuit, illustré plus bas, l'interrupteur étant fermé, le courant circule dans l'ampèremètre et l'ampoule électrique. L'ampèremètre indique la quantité de courant circulant dans l'ampoule ou la lampe. Le voltmètre indique le nombre de volts produits par l'accumulateur pour alimenter le circuit.

Veuillez vous reporter à la figure 15 où nous avons réuni tous les symboles schématiques des composants d'un circuit que vous connaissez maintenant.

Fig. 15 Une étude attentive de cette illustration vous aidera grandement à identifier plus tard le symbole d'un composant en particulier. Ces symboles ne sont que quelques-uns de ceux que vous aurez à utiliser en tant qu'électricien d'entretien.



15 Circuits et équipement de mise à la terre

Nous avons déjà traité dans une leçon précédente de la mise à la terre de l'équipement électrique de façon à prévenir l'accumulation d'électricité statique. L'équipement et les circuits doivent également être mis à la terre afin de protéger les personnes susceptibles de les toucher.

Une mise à la terre c'est un raccordement électrique entre un circuit ou un équipement et la terre ou un corps conducteur quelconque pouvant se substituer à la terre. Une mise à la terre peut être intentionnelle ou accidentelle. Il arrive souvent que le raccordement d'un tuyau d'eau en métal à la conduite d'eau principale soit utilisé comme mise à la terre; la charpente de métal d'un édifice agit également comme mise à la terre.

Le symbole d'une mise à la terre est illustré sur la figure 16; nous avons le schéma d'un circuit dont le côté négatif est mis à la terre. Le circuit représenté réagira de la même façon, avec ou sans mise à la terre. Si les deux côtés, négatif et positif, étaient mis à la terre, accidentellement ou intentionnellement, ceci produirait un court-circuit dans l'accumulateur. En effet, le courant alors très faible voire même inexistant, ne pourrait atteindre la résistance et l'accumulateur se déchargerait rapidement.

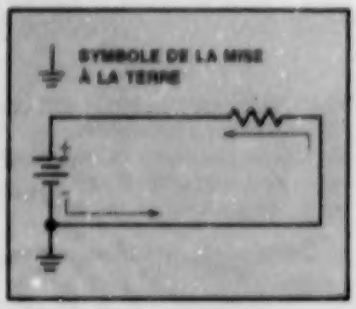


Fig. 16. L'équipement et les circuits électriques sont habituellement mis à la terre pour des raisons de sécurité et de protection.

Exercice de contrôle 2

Voici quelques questions qui vous aideront à faire le point sur vos connaissances concernant les condensateurs et les interrupteurs. Si une ou plusieurs de vos réponses sont erronées, veuillez vous reporter à la section dont il est question afin d'en découvrir la raison avant de poursuivre votre étude.

Vos réponses

1. Le composant électrique capable d'emmagasiner une charge se nomme un(e) _____ .

1. _____

2. Comment se nomme le matériau inséré entre les plaques d'un condensateur?

2. _____

3. À droite, encerclez les deux caractéristiques utilisées pour identifier les valeurs d'un condensateur.

3. *a.* capacité
b. charge
c. courant
d. puissance
e. voltage

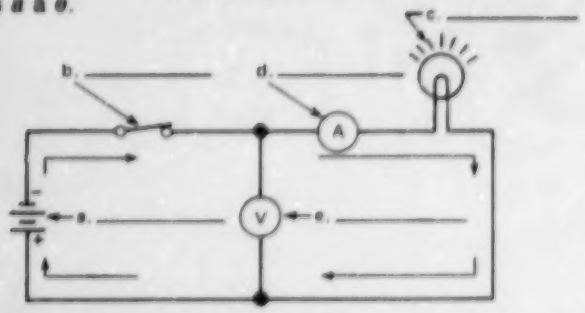
4. Dans l'espace libre, en-dessous de chaque interrupteur, indiquez la lettre qui l'identifie.
A. interrupteur rotatif
B. interrupteur à bascule
C. interrupteur à bouton-poussoir
D. interrupteur à coulisse

4.

a. _____ *b.* _____

c. _____ *d.* _____

5. Dans les espaces libres à droite, identifiez les cinq composants faisant partie de ce schéma de montage et représentés par les lettres *a* à *e*.



5. *a.* _____
b. _____
c. _____
d. _____
e. _____

6. L'interrupteur identifié par la lettre *d* à la question 4 est du type:
A. unipolaire à 1 seule direction
B. sectionneur–inverseur
C. bipolaire à 1 direction
D. bipolaire à 2 directions

6. _____

Réponses à l'exercice 2

1. condensateur Section 9
2. diélectrique Section 10
3. a. capacité
   voltage Section 11
4. a. *C* interrupteur
   à bouton-poussoir
   b. *D* interrupteur
   à coulisse
   c. *A* interrupteur
   rotatif
   d. *B* interrupteur
   à bascule
   Section 13, fig. 13
5. a. accumulateur
   b. interrupteur
   c. ampoule
   d. ampèremètre
   e. voltmètre Section 14
6. a. interrupteur
   unipolaire à 1
   seule
   direction Section 14

La loi d'Ohm

16 L'utilisation de la loi d'Ohm pour le calcul du courant

Si vous connaissez le voltage et la résistance d'un circuit, vous pouvez utiliser une des formules de la loi d'Ohm pour trouver la quantité de courant circulant dans ce circuit.

Vous savez déjà que les trois symboles E, I et R représentent respectivement le voltage, le courant et la résistance.

Si vous utilisez les unités de mesure de ces trois grandeurs, vous pouvez définir la loi d'Ohm comme suit: le courant I, en ampères, qui circule dans un circuit électrique fermé, est égal au voltage E, en volts, divisé par la résistance R du circuit, en ohms, ou:

$$I = \frac{E}{R}$$

À l'aide de cette formule, procédons comme suit:

Problème: Tel qu'illustré à la figure 17, nous avons un voltage de 100 V (volts) qui est appliqué à un circuit dont la résistance est de 20 Ω.

Déterminez l'intensité du courant circulant dans ce circuit lorsque l'interrupteur est fermé.

Solution: Utilisez la loi d'Ohm pour le calcul du courant:

$$I = \frac{E}{R}$$

En remplaçant les valeurs données dans cette formule par des mots, nous avons l'équation suivante: le courant est égal à 100 volts divisés par 20 Ω, ou:

$$I = \frac{100}{20} = 5 \text{ A (ampères)}$$

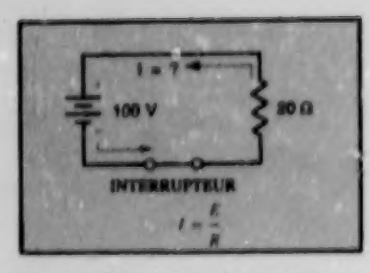


Fig. 17. Circuit relatif au problème de la section 16. La direction du courant n'est pas toujours indiquée sur les schémas. Vous savez cependant que celui-ci circule du négatif au positif, il n'est donc pas nécessaire que la direction soit indiquée. Vous pouvez trouver la valeur du courant en utilisant la formule suivante: $I = \frac{E}{R}$

17 L'utilisation de la loi d'Ohm pour le calcul de la résistance

Lorsque le courant et le voltage d'un circuit sont connus, vous pouvez déterminer la résistance en appliquant la formule suivante:

$$R = \frac{E}{I}$$

Problème: tel qu'illustré à la **figure 18**, le voltage de ce circuit est de 50 volts et le courant de 5 A. Quelle est la résistance du circuit?
Solution: utilisez la loi d'Ohm pour le calcul de la résistance:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{50}{5} = 10\ \Omega$$

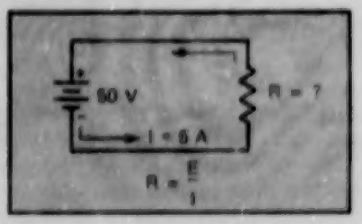


Fig. 18. Lorsque le voltage et le courant sont connus, la formule suivante permet de calculer la résistance:
$R = \frac{E}{I}$

18 L'utilisation de la loi d'Ohm pour le calcul du voltage

Lorsque le courant et la résistance sont connus, vous pouvez déterminer le voltage en appliquant la formule suivante:

$$E = I \times R \text{ ou } E = IR$$

L'exemple suivant montre qu'il est facile d'utiliser cette formule.

Problème: nous avons un circuit de 2 A dont la résistance est de 25 Ω. Déterminez le voltage aux extrémités de la résistance (voir figure 19 pour le schéma électrique
Solution: utilisez la loi d'Ohm pour le calcul du voltage:

$$E = IR$$
$$= 2 \times 25 = 50\ V$$

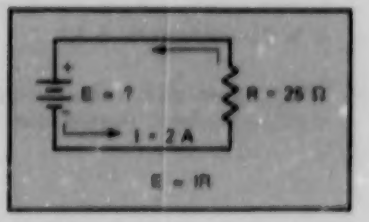


Fig. 19. Lorsque le courant et la résistance sont connus, la formule suivante permet de calculer le voltage:
$E = I \times R$

Exercice de contrôle 3

Avant de compléter votre examen personnel, prenez quelques minutes pour revoir quelques points importants. Comparez vos réponses avec les nôtres et s'il y a lieu, révisez les sections pour lesquelles vous n'avez pas su répondre correctement.

1. Quelle est la formule exprimant la loi d'Ohm?

2. Dans le schéma de montage illustré ci-dessous, déterminez le courant du circuit *I*, il s'agit d'un accumulateur de 10 V dont la résistance est de 5 Ω.

3. En vous reportant toujours au circuit illustré ci-dessus, et en supposant que le voltage est de 20 V, quelle sera la résistance R si le courant est de 4 A?

4. Si un courant de 5 A circule à travers une résistance de 7 Ω dans le circuit illustré ci-dessus, quel est le voltage de l'accumulateur?

Vos réponses

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

Réponses à l'exercice 3

1. $I = \frac{E}{R}$ Section 16

2. 2 A Section 16 $\left(I = \frac{E}{R} = \frac{10}{5} = 2\ A\right)$

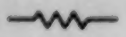
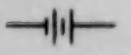
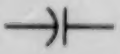
3. 5 Ω Section 17 $\left(R = \frac{E}{I} = \frac{20}{4} = 5\ \Omega\right)$

4. 35 V Section 18 $(E = I \times R = 5 \times 7 = 35\ V)$

Examen personnel

Lisez attentivement chacun des énoncés suivants et assurez-vous de bien les comprendre. Chaque énoncé est accompagné de quatre mots, phrases ou symboles, dont un seulement est exact. Marquez d'un X la lettre qui correspond à votre réponse.

1. Indiquez le symbole utilisé dans les schémas pour représenter une résistance fixe.

   A. 
   C.
   B. 
   D. 

2. Si une résistance a été fabriquée avec une tolérance de 5% par rapport à la valeur indiquée par ses couleurs, quelle est la couleur de la quatrième bande?

   A. blanche
   B. noire
   C. argent
   D. or

3. Quelle est la valeur d'une résistance sur laquelle figurent les couleurs suivantes: orange, orange et brun?

   A. 33 Ω
   B. 330 Ω
   C. 3300 Ω
   D. 33 000 Ω

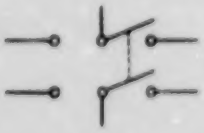
4. Un composant électrique communément appelé rhéostat est un genre de:

   A. condensateur variable
   B. résistance variable
   C. chaufferette
   D. interrupteur

5. L'utité de mesure de la capacité est:

   A. le volt
   B. l'ampère
   C. l'ohm
   D. le farad

6. Parmi les symboles suivants, lequel représente un interrupteur bipolaire à une direction?

   A.
   C.
   B.
   D. 

7. Lorsqu'un côté d'un circuit est raccordé à un tuyau d'eau en métal, le circuit sera:

   A. ouvert
   B. mis à la terre
   C. court-circuité
   D. blindé

8. Quel sera le courant du circuit dont la résistance de 4 est soumise à une tension de 12 volts?

   A. 1/3 A
   B. 1 A
   C. 3 A
   D. 36 A

9. Quelle sera la résistance si le courant est de 7 A et le voltage de 28 V?

   A. 4
   B. 21
   C. 35
   D. 176

10. Un courant de 3 A circulera dans une résistance de 6 Ω si le voltage utilisé est de:

    A. 3 V
    B. 6 V
    C. 9 V
    D. 18 V

Vous trouverez les réponses à la page 291.

Les composants électriques et la loi d'Ohm

AF0104

(Lexiques)

Français	Anglais
Ampèremètre	Ammeter
Arbre	Shaft
Armature	Plate
Bascule	Toggle
Batterie	Battery
Borne coulissante	Sliding Tap
Bouton poussoir	Pushbutton
Capacité	Capacitance
Code de couleurs	Color Code
Condensateur	Capacitor
Coulisse	Slide
Courant	Current
Court-circuit	Short
Croquis	Sketch
Curseur	Movable Contact
Diagramme de montage	Pictorial Diagram
Diagramme schématique	Schematic Diagram
Diélectrique	Dielectric
Électrolytique	Electrolytic
Interrupteur	Switch
Masse (terre)	Ground
Mise à la terre	Grounding
Pile	Cell
Potentiomètre	Potentiometer
Puissance	Wattage
Puissance nominale	Wattage Rating
Résistance	Resistor
Résistance	Resistance
Résistance bobinée	Wire-wound Resistor
Rhéostat	Rheostat
Rotatif	Rotary
Symbole	Symbol
Tension	Voltage
Voltmètre	Voltmeter

Anglais	Français
Ammeter	Ampèremètre
Battery	Batterie
Capacitance	Capacité
Capacitor	Condensateur
Cell	Pile
Color Code	Code de couleurs
Current	Courant
Dielectric	Diélectrique
Electrolytic	Électrolytique
Ground	Masse (terre)
Grounding	Mise à la terre
Movable Contact	Curseur
Pictorial Diagram	Diagramme de montage
Plate	Armature
Potentiometer	Potentiomètre
Pushbutton	Bouton poussoir
Resistance	Résistance
Resistor	Résistance
Rheostat	Rhéostat
Rotary	Rotatif
Schematic Diagram	Diagramme schématique
Shaft	Arbre
Short	Court-circuit
Sketch	Croquis
Slide	Coulisse
Sliding Tap	Borne coulissante
Switch	Interrupteur
Symbol	Symbole
Toggle	Bascule
Voltage	Tension
Voltmeter	Voltmètre
Wattage	Puissance
Wattage Rating	Puissance nominale
Wire-wound Resistor	Résistance bobinée

Montages des circuits élémentaires

AF0105

Montages des circuits élémentaires

Objectifs d'enseignement

Le fait de connaître et de pouvoir appliquer la loi d'Ohm vous permettra de mieux comprendre les circuits sur lesquels vous devrez travailler comme électricien d'entretien dans une usine. Les circuits parallèles sont les plus utilisés dans les usines parce qu'à peu près tout l'équipement est raccordé d'un «côté à l'autre du réseau». Toutefois, on y trouve également les circuits série et les circuits série-parallèle.

Lorsque vous aurez terminé cette leçon, vous devriez être en mesure:

- *de reconnaître les circuits parallèle, série et série-parallèle dans les schémas de principe.*
- *de calculer la résistance totale, l'intensité du courant et les chutes de tension dans un circuit série.*
- *de calculer la résistance totale, l'intensité du courant total et des courants dérivés dans un circuit parallèle.*
- *de simplifier un circuit série-parallèle.*
- *de déterminer la tension, l'intensité du courant et la résistance en appliquant la loi d'Ohm.*

Table des matières

Résistances montées en série

Définition d'un circuit	143
Circuits ouverts et circuits fermés	143
Schémas de principe	144
Circuits électriques simples	145
Circuits série	146
Résistance totale d'un circuit série	147
Application de la loi d'Ohm dans un circuit série	148
Intensité du courant dans un circuit série	149
Différence de potentiel	149
Chute de tension	150
Règle des circuits série	151
Exemples	151
Exercice de contrôle 1	153

Résistances montées en parallèle

Circuits parallèle	154
Intensités des courants dans les circuits parallèle	155
Résistance totale d'un circuit parallèle	157
Deux ou plusieurs résistances égales montées en parallèle	157
Exemples	157
Deux ou plusieurs résistances inégales montées en parallèle	158
Exemple	158
Plusieurs résistances inégales montées en parallè...	158
Autre méthode de calcul de la résistance totale	159
Exemple	160
Les circuits parallèle: résumé	161
Exercice de contrôle 2	162

Résistances montées en série-parallèle

Circuits série-parallèle 164
Résistance totale dans un circuit série-parallèle 165
Courants dans un circuit série-parallèle 166
Exemple 167
Exercice de contrôle 3 168

Examen personnel 169

Lexiques 171

Résistances montées en série

1 Définition d'un circuit

Un circuit électrique est le chemin que parcourt le courant électrique pour se rendre d'un point à un autre. Un *circuit*, ou parcours électrique, est composé d'un ou de plusieurs conducteurs, dispositifs et charges. Un *courant électrique* traverse un circuit lorsque le parcours est ininterrompu et qu'on applique une tension. Une lampe de poche allumée est un exemple de circuit continu. Un électricien d'entretien travaille avec plusieurs genres de circuits.

Sur la figure 1, la pile sèche, la lampe et les fils forment un circuit simple. Comme l'indiquent les flèches, les électrons partent de la borne négative de la pile, traversent le fil raccordé à la lampe, la lampe et l'autre fil raccordé à la borne positive de la pile. À l'intérieur de la pile, les électrons passent de l'électrode positive à l'électrode négative. Le filament de la lampe est un type de résistance.

Fig. 1. Dans ce schéma représentant un circuit électrique simple, les flèches indiquent la direction du courant. Ce dernier part de la pile et traverse la lampe pour retourner à la pile. La lampe de poche fonctionne de la même façon mais son circuit comporte un interrupteur.

2 Circuits ouverts et circuits fermés

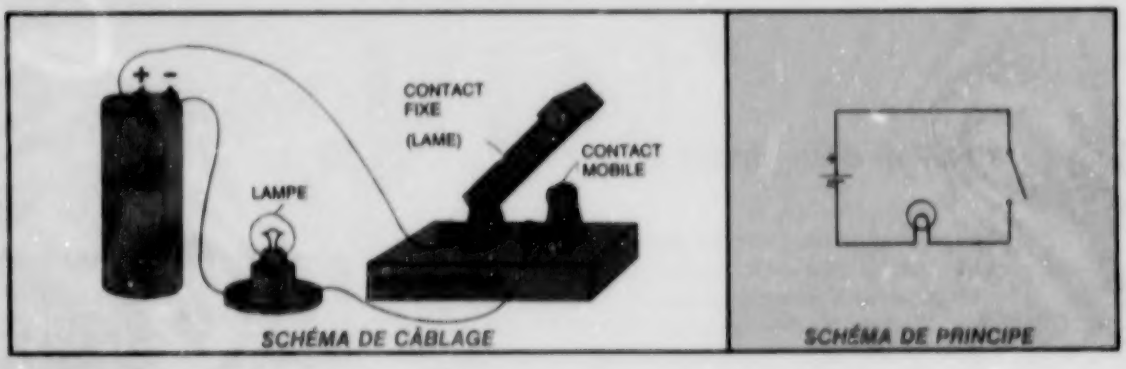
Dans le circuit de la figure 1, on a un parcours continu du courant électrique. L'électricité traverse toutes les parties du circuit. Puisque

l'électricité circule dans la lampe, le filament chauffe jusqu'à ce qu'il devienne brillant. Ce circuit complet est appelé *circuit fermé*.

Supposons maintenant que les fils de la lampe se déconnectent à cause des vibrations de la machinerie lourde installée dans l'usine. Le courant ne circule plus dans toutes les parties du circuit et la lampe s'éteint. Il s'agit d'un *circuit ouvert ou interrompu*. Toute autre coupure du circuit, soit dans une autre connexion, dans un fil, dans la lampe ou la pile, suffit pour arrêter le passage du courant en tout point du circuit.

La plupart des circuits sont munis d'un interrupteur qui, comme son nom l'indique, interrompt le courant. L'interrupteur à couteau (le contact mobile ressemble à la lame d'un couteau) remplit bien cette fonction. Sur la figure 2, l'interrupteur est ouvert; quand il est fermé, la lame s'engage entre les deux mâchoires de la pince ou contact fixe.

Fig. 2. Un interrupteur à couteau ouvre le circuit. Un circuit peut également s'ouvrir lorsqu'il y a rupture d'un fil ou qu'une connexion se défait.



3 Schémas de principe

Comme vous le savez, dans les schémas *de principe*, les parties d'un circuit sont représentées par des symboles électriques standard et les fils de connexion par des lignes (voir fig. 2). La figure 3 représente les symboles standards utilisés dans cette leçon. Ces symboles ont été expliqués en détail dans une leçon précédente.

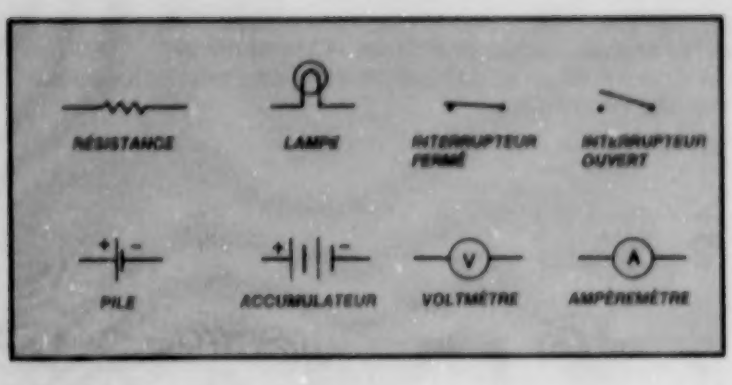


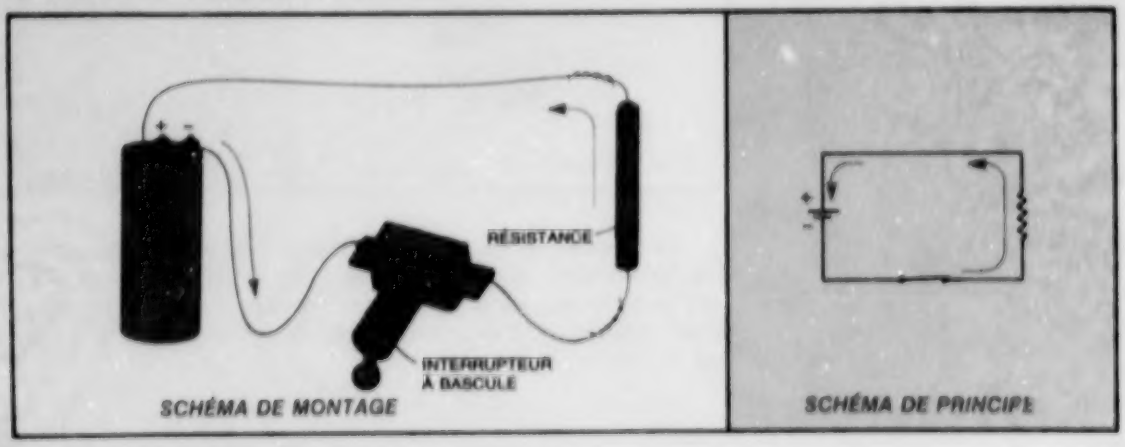
Fig. 3. Vous devez déjà connaître ces symboles électriques standard. Vérifiez vos connaissances en essayant de reconnaître les symboles après avoir caché leur nom.

4 Circuits électriques simples

Les circuits sont classés selon le nombre de résistances entre les bornes de la source de tension et la façon dont ces résistances sont montées. Nous entendons par résistance toute opposition qu'offre un corps au passage du courant. Une lampe par exemple est une résistance, alors qu'un interrupteur ne l'est pas.

Un circuit simple comprend une source de tension, une résistance et des fils de connexion. Le circuit de la **figure 4** comprend une source de tension, une résistance, un interrupteur à bascule et des fils de connexion. Comme la résistance de l'interrupteur est négligeable, elle ne change pas la nature du circuit.

Fig. 4. Ce circuit élémentaire comprend une pile, une résistance, un interrupteur à bascule et des fils de connexion. Les schémas de principe et de montage montrent le même circuit avec les mêmes composants.



Un circuit qui comporte plus d'une résistance entre les bornes de la source de tension, ce n'est pas un circuit simple. Il s'agit plutôt d'un circuit série, parallèle ou série-parallèle, selon le montage des résistances.

5 Circuits série

Les résistances sont montées *en série* lorsqu'elles sont raccordées bout à bout (voir les lampes dans la partie supérieure de la figure 5). Un circuit dont toutes les résistances sont raccordées de cette façon, porte le nom de circuit série. La résistance et la lampe au centre de la figure sont également raccordées en série. Dans la partie inférieure, les deux lampes de la veilleuse sont raccordées en série comme le montre l'image fantôme.

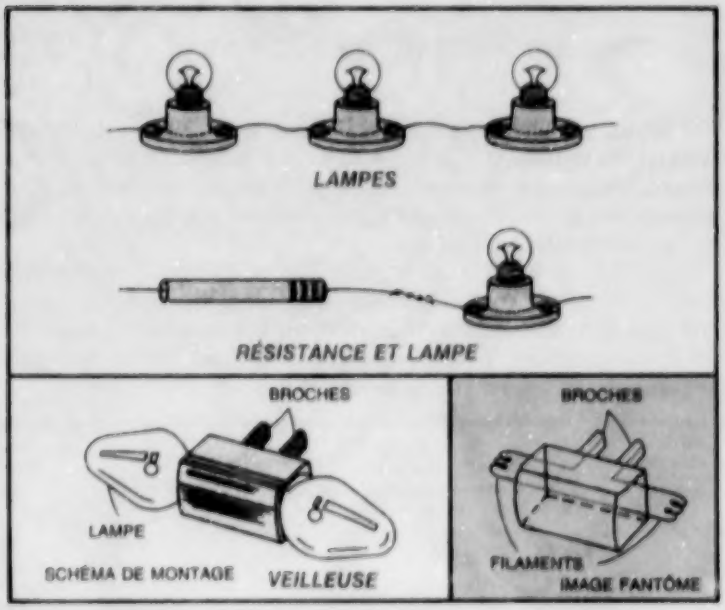


Fig. 5. Dans un montage en série, les composants sont raccordés bout à bout. La veilleuse est munie d'ampoules montées en série ce qui lui assure une plus longue durée

Le courant traverse chaque résistance et les autres composants d'un circuit série. Dans le circuit série de la figure 6, le courant part de la borne négative de l'accumulateur et traverse la résistance, la lampe et l'interrupteur pour retourner à la borne positive de l'accumulateur.

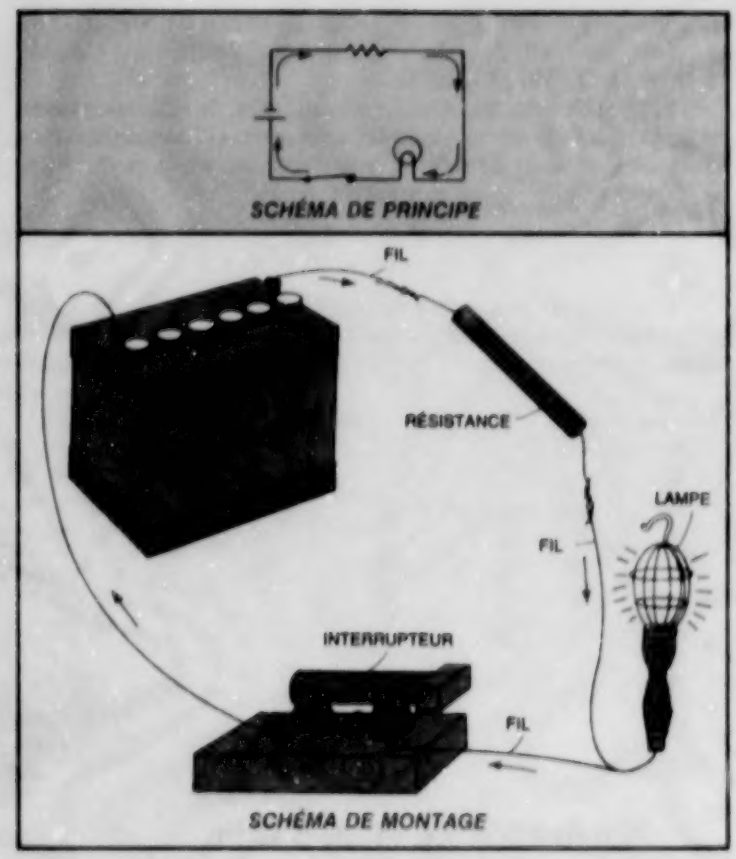


Fig. 6. L'accumulateur est la source de tension de ce circuit série. La lampe et la résistance sont raccordées en série. Remarquez la simplicité du schéma de principe comparé au schéma de montage bien que les deux représentent les mêmes composants.

Une coupure en n'importe quel point du circuit empêche le passage du courant. Dans le circuit série de la figure 7, le courant part de la borne négative de l'accumulateur, traverse les deux résistances et l'interrupteur pour finalement revenir à la borne positive de l'accumulateur.

N'oubliez pas: lorsqu'il y a plus d'une résistance, c'est le montage des résistances qui détermine le type de circuit.

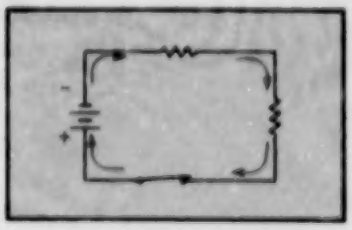


Fig. 7. Ce circuit série comprend un accumulateur, deux résistances et un interrupteur. Vous devriez pouvoir vous figurer les composants représentés par les symboles

6 Résistance totale d'un circuit série

Comme les résistances individuelles d'un circuit série sont raccordées bout à bout, il suffit d'en faire la somme pour déterminer la résistance totale. Supposons par exemple qu'il y ait 3 résistances rac-

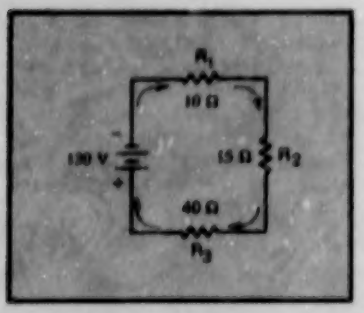


Fig. 8. Pour calculer le courant dans un circuit série, il suffit d'additionner toutes les résistances et d'appliquer la loi d'Ohm, c'est-à-dire de diviser la tension par la résistance totale.

cordées en série (voir figure 8): une de 10 Ω (ohms), une de 15 Ω et une de 40 Ω. La résistance totale est donc: 10 Ω + 15 Ω + 40 Ω = 65 Ω.

En d'autres termes, dans un circuit série, la résistance totale est équivalente à la somme de toutes les résistances individuelles raccordées en série. Si R_T représente la résistance totale et R_1, R_2 et R_3 trois résistances montées en série, on a:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$
$$= 10 + 15 + 40 = 65\ \Omega$$

Peu importe le nombre de résistances raccordées en série, la résistance totale est toujours équivalente à la somme des résistances individuelles.

7 Application de la loi d'Ohm dans un circuit série

On applique la loi d'Ohm pour calculer le courant électrique dans tout circuit à courant continu (c.c.), peu importe le nombre de résistances. Pour calculer le courant d'un circuit série, il faut d'abord en déterminer la résistance totale, c'est-à-dire la somme de toutes les résistances du circuit. Sur la figure 8, la résistance totale est de 65 Ω. Selon la loi d'Ohm, la formule suivante permet de calculer l'intensité du courant:

$$I = \frac{E}{R}$$

I = le courant en ampères
E = la tension en volts
R = la résistance en ohms

Sur la figure 8, E = 130 V et R = 65 Ω (résistance totale). Si l'on substitue ces valeurs dans la formule ci-dessus, on obtient:

$$I = \frac{E}{I} = \frac{130}{65} = 2\ \text{A (ampères)}$$

8 Intensité du courant dans un circuit série

Dans un circuit série, toutes les résistances peuvent être considérées comme équivalentes à une seule résistance dont la valeur est égale à la somme de toutes les résistances individuelles. On obtient ainsi une seule intensité du courant. N'oubliez pas que cette valeur est la même d'un côté ou de l'autre de la résistance. En d'autres termes, le courant de sortie de la résistance est le même que le courant d'entrée de cette même résistance. Sur la figure 8, la tension = 130 V, la résistance = 65 Ω et un courant de 2 A circule de l'accumulateur à la résistance R_1. Le même courant circule de la résistance R_1 à la résistance R_2. De la résistance R_2, un courant de 2 A traverse la résistance R_3 pour finalement retourner à la borne positive de l'accumulateur. Lorsqu'on raccorde un ampèremètre A en un point quelconque du circuit (voir la fig. 9), on obtient toujours la même intensité du courant. Dans ce cas, l'intensité du courant est de 2 A en tous les points du circuit. Nous pouvons donc en conclure que *l'intensité du courant est la même à tous les points d'un circuit série fermé.*

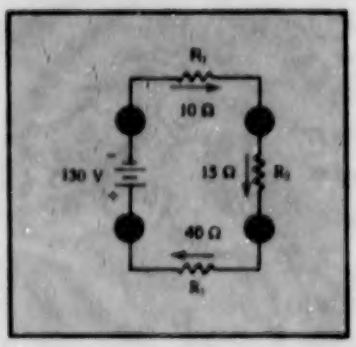


Fig. 9. L'ampèremètre A donne la même lecture peu importe l'endroit où il est raccordé dans le circuit. Il doit également être connecté en série.

9 Différence de potentiel

Pour qu'un courant traverse une résistance, il doit y avoir une différence de potentiel entre les bornes, ou extrémités, de cette résistance. Sans différence de potentiel, il est impossible de faire circuler un courant, car il ne peut y avoir de déplacement d'électrons. Il faut appliquer une tension pour que le courant traverse la résistance. Selon la loi d'Ohm, il faut une différence de 1 V pour qu'un courant de 1 A traverse une résistance de 1 Ω. Il faut donc une différence de 10 V pour qu'un courant de 10 A traverse 1 Ω ou qu'un courant de 5 A traverse 2 Ω.

Dans le circuit de la figure 9A, le même courant traverse les 3 résistances R_1, R_2 et R_3. L'intensité du courant est de 2 A; la ten-

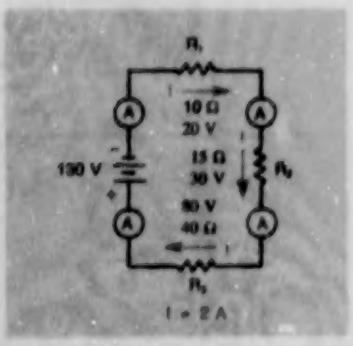


Fig. 9A.

sion E créée par l'accumulateur, et les résistances R_1 et R_2 ont respectivement pour valeurs: $E = 130$ V, $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 15\ \Omega$ et $R_3 = 40\ \Omega$.

Quelle est la tension aux bornes de R_1? On peut effectuer ce calcul en appliquant la loi d'Ohm pour les tensions, soit:

$$E = I \times R$$

La résistance R_1 est de 10 Ω et l'intensité du courant I est de 2 A; en substituant ces valeurs, on obtient:

$$E = I \times R_1$$
$$= 2 \times 10 = 20 \text{ V}$$

Il y a donc une chute de tension de 20 V aux bornes de la résistance R_1.

Un courant de 2 A traverse également la résistance $R_2 = 15\ \Omega$. Il faut trouver la tension aux bornes de R_2; alors on a:

$$E = I \times R_2$$
$$= 2 \times 15 = 30 \text{ V}$$

La chute de tension dans R_2 est de 30 V.

Si $R_3 = 40\ \Omega$, quelle serait la tension nécessaire pour faire circuler un courant de 2 A dans cette résistance?

$$E = I \times R_3$$
$$= 2 \times 40 = 80 \text{ V}$$

10 Chute de tension

Un volmètre raccordé aux bornes de la résistance R_1 (voir fig. 9A) indique 20 V. La lecture est de 30 V si l'appareil est raccordé aux bornes de la résistance R_2 et de 80 V s'il est raccordé aux bornes de R_3. La tension créée par l'accumulateur est distribuée dans tout le circuit en proportion des résistances de ce circuit. La somme des tensions aux bornes des résistances est donc comme suit: 20 V + 30 V + 80 V = 130 V, c'est-à-dire la tension créée par l'accumulateur. Une différence de potentiel entre les bornes d'une résistance *traversée par un courant* est appelée chute de tension, chute IR, ou tout simplement chute dans cette résistance.

11 Règles des circuits série

Trois règles générales importantes s'appliquent aux circuits série à c.c.:

Règle 1. Dans tout circuit série, la résistance totale du circuit est égale à la somme des résistances individuelles. $R_T = R_1 + R_2$

Règle 2. Dans tout circuit série, l'intensité du courant est la même en tous les points du circuit. $I_T = I_1 = I_2$

Règle 3. Dans tout circuit série, la somme des chutes de tension dans le circuit est égale à la tension appliquée. $E_T = E_1 + E_2$

Exemples

Au cours de cette leçon, vous trouverez quelques exemples pour bien illustrer l'application d'un principe, d'une règle ou d'une formule. Lisez attentivement chaque problème et étudiez la solution jusqu'à ce que vous l'ayez parfaitement comprise.

Problème 1. Une tension de 260 V continue est appliquée à un circuit de 5 résistances. Deux des résistances sont de 10 Ω et trois de 15 Ω. Calculez le courant dans ce circuit et la chute de tension dans chaque résistance.

Solution. Il est parfois utile de tracer le schéma du circuit. **(Voir fig. 10).**

La résistance totale R du circuit est donc:

$R = 10 + 10 + 15 + 15 + 15 = 65\ \Omega.$

Selon la formule indiquée à la section 7:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{260}{65} = 4\ \text{A}$$

En utilisant la formule donnée à la section 9, la chute de tension dans chaque résistance se calcule ainsi:

$E = I \times R = 4 \times 10 = 40$ V

(chute de potentiel aux bornes de la résistance de 10 Ω)

$E = I \times R = 4 \times 15 = 60$ V

(chute de potentiel aux bornes de la résistance de 15 Ω)

Puisqu'il y a une chute de tension de 40 V dans chacune des deux résistances de 10 Ω (total de 80 V) et de 60 V dans chacune des trois résistances de 15 Ω (total de 180 V), la somme des chutes de tension est égale à la tension appliquée, soit:

80 V + 180 V = 260 V

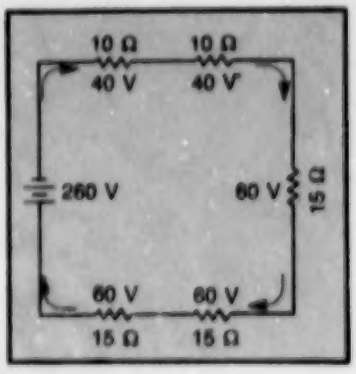


Fig. 10. Peu importe le nombre de résistances en série, il suffit de les additionner pour obtenir la résistance totale.

Problème 2. Si l'on double la valeur de chacune des résistances du problème 1, quelle serait l'intensité du courant?

Solution. Puisque la valeur des deux résistances de 10 Ω est doublée à 20 Ω et que celle des trois résistances de 15 Ω est doublée à 30 Ω, on obtient une résistance totale de:

$$R = 20 + 20 + 30 + 30 + 30 = 130\ \Omega$$

et l'intensité du courant se calcule comme suit:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{260}{130} = 2\ \text{A}$$

Notez que lorsqu'on double la résistance sans changer la tension, le courant est réduit de moitié.

De la même façon, si la résistance est réduite de moitié, le courant double.

Exercice de contrôle 1

Faites une courte pause et vérifiez si vous avez bien compris les principes de base des circuits série. Lorsque vous aurez répondu à toutes les questions, vérifiez vos réponses pour voir si celles-ci correspondent aux nôtres et faites une révision si nécessaire.

1. L'électricité circule dans un circuit lorsque le _____ est complet et qu'on y applique une _____ .

2. Quel symbole représente une lampe?

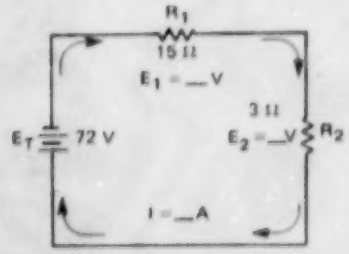
   A. (A) *C.*

   B. (V) *D.*

3. Le même _____ traverse chaque résistance d'un circuit série.

4. Quelle est la résistance totale d'un circuit série dans lequel se trouvent des résistances de 10 Ω, 20 Ω, 60 Ω et 80 Ω?

5. Dans le circuit ci-dessous, déterminez le courant et la différence de potentiel dans chacune des deux résistances.



6. La différence de potentiel est aussi appelée chute de _____.

Vos réponses

1. _____
   _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. I = _____
   E_1 = _____
   E_2 = _____
6. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 1

1. Parcours ou circuit; tension, Section 1
2. D Sect. 3, fig. 3
3. Courant Section 5
4. 170 Ω Section 6
5. I = 4 A Section 7

$$R_T = R_1 + R_2 = 15 + 3 = 18\ \Omega$$

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{72}{18} = 4\ A$$

E_1 = 60 V Section 9

$E_1 = I \times R_1 = 4 \times 15$
= 60 V

E_2 = 12 V Section 9

$E_2 = I \times R_2 = 4 \times 3$
= 12 V

6. Tension Section 10

Résistances montées en parallèle

12 Circuits parallèle

Lorsque les résistances sont reliées entre elles, aux 2 extrémités tel que le montre la figure 11, on dit qu'elles sont raccordées *en parallèle*. La figure montre différentes combinaisons de lampes et de résistances raccordées en parallèle. Un circuit dans lequel toutes les résistances sont raccordées en parallèle est appelé circuit parallèle, (voir fig. 12). Notez qu'à l'endroit où les résistances se joignent, le parcours du courant se divise en deux branches*. Le courant total (I_T) aussi se divise: une partie (I_1) circule dans la première résistance et l'autre (I_2) dans la deuxième.

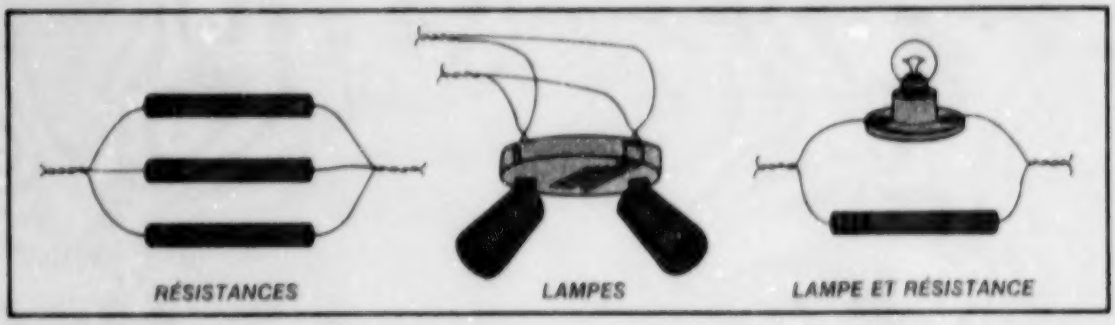


Fig. 11. Dans un montage en parallèle, une tension appliquée aux bornes produit un courant qui se divise entre les composants. Les projecteurs fonctionnent normalement avec une source de 120 V.

S'il y a coupure dans une seule branche d'un circuit parallèle, le courant continue de circuler dans les autres branches. Supposons qu'il y ait coupure dans la branche R_1 du circuit représenté par la figure 12. Le courant ne peut plus circuler dans celle-ci mais continue de circuler dans la branche R_2. Donc, il existe toujours un parcours complet pour le courant. Si trois résistances étaient montées en parallèle, deux d'entre elles pourraient ne plus fonctionner sans pour autant arrêter le passage du courant. Le cas n'est pas le même s'il y a coupure dans les fils conducteurs reliant les résistances à la source de tension. Si l'un des fils se rompt ou si l'interrup-

* Branche est synonyme de dérivation.

teur est ouvert, le parcours est incomplet et le courant ne peut plus circuler dans aucune partie du circuit.

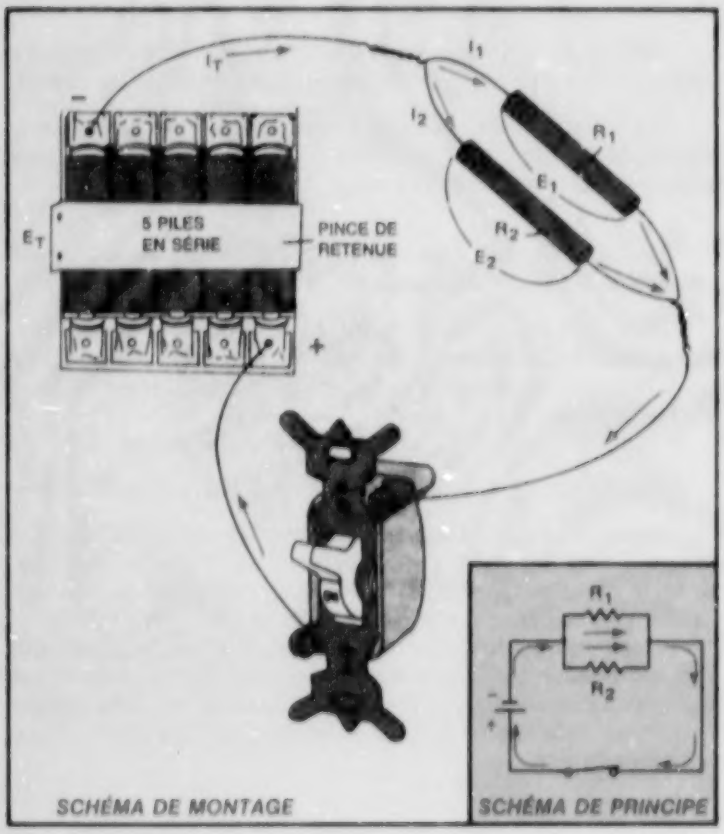


Fig. 12. Dans un circuit parallèle, la somme des courants circulant dans les branches est égale au courant total du circuit. La batterie de piles représentée comprend 5 piles de 1,5 V raccordées en série fournissant une source de tension de 7,5 V.

13 Intensités des courants dans les circuits parallèle

Dans un circuit parallèle, il y a plus d'un parcours pour le courant. La résistance électrique de la branche détermine l'intensité du courant circulant dans chaque branche d'un circuit parallèle. Plus la résistance est faible, plus le courant est élevé et vice-versa. Le courant suit toujours le parcours qui offre le moins de résistance.

Voici quelques règles sur les courants et les tensions dans un circuit parallèle à c.c. Les formules exprimant ces règles sont données plus loin dans cette leçon (fig. 13).

Règle 1. La résistance totale d'un circuit parallèle est toujours inférieure à la plus faible des résistances des branches du circuit.

Il y a toujours un courant qui circule dans une branche, peu importe la résistance qu'offre celle-ci. Ce courant s'ajoute à celui qui circule dans toute autre branche. D'où la règle suivante:

Règle 2. Dans tout circuit parallèle, l'intensité du courant total est égale à la somme des intensités des courants des branches.

Puisque le courant total circulant dans les branches parallèles est supérieur à celui circulant dans toute branche du circuit, il s'ensuit que la résistance totale des branches est inférieure à la résistance respective des branches du circuit.

Règle 3. La même tension est appliquée à chacune des branches.

Reportez-vous à la figure 12 pour bien saisir ces règles. Le circuit représenté comprend deux résistances raccordées en parallèle. La borne négative de la batterie de la pile est raccordée directement du côté gauche des deux résistances alors que la borne positive est raccordée du côté droit de ces mêmes résistances par l'intermédiaire d'un interrupteur. Puisque la source de tension (E_T) est directement appliquée à chacune des résistances, le courant qui y circule est égal au quotient de la tension d'alimentation du circuit par la résistance de chaque branche.

Ainsi:

$$I_1 = \frac{E_T}{R_1} \text{ et } I_2 = \frac{E_T}{R_2}$$

En supposant que $I_1 = 1$ A et que $I_2 = 2$ A (voir fig. 12), le courant total produit par l'accumulateur est donc égal à la somme des courants des deux branches, ou

$$I_T = I_1 + I_2 = 1 \text{ A} + 2 \text{ A} = 3 \text{ A}$$

Puisque le courant dans la deuxième branche est le double de celui de la première, nous pouvons conclure que la résistance de la deuxième branche est la moitié de celle de la première.

14 Résistance totale d'un circuit parallèle

Si nous connaissons la tension appliquée et le courant total, nous pouvons calculer la résistance totale ou équivalente d'un circuit parallèle à c.c. en appliquant la loi d'Ohm. Ainsi

$$R_T = \frac{E_T}{I_T}$$

où R_T = résistance totale du circuit parallèle
E_T = tension appliquée
I_T = courant total dans le circuit

Donc, d'après la figure 12a, si la tension appliquée est de 7,5 V et le courant total 3 A:

$$R_T = \frac{E_T}{I_T} = \frac{7,5}{3} = 2,5\ \Omega$$

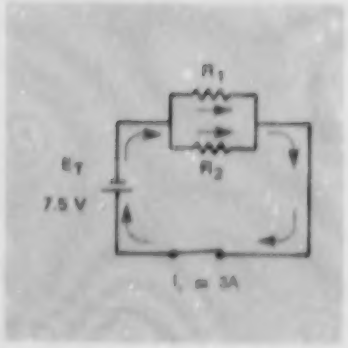


Fig. 12a

15 Deux ou plusieurs résistances égales montées en parallèle

Si la résistance des branches est égale, il est plus facile de déterminer la résistance totale des circuits parallèle. Supposons que R_1 et R_2 (fig. 12 b) soient chacune de 20 Ω. Si deux résistances égales sont en parallèle, la résistance totale ou équivalente est égale à la résistance d'une de ces résistances (20 Ω) divisée par 2, soit le nombre de résistances en parallèle. De même, lorsque trois résistances de valeur égale sont en parallèle, la résistance totale R_T est égale à la valeur de l'une des résistances divisée par 3, soit le nombre de résistances en parallèle.

La règle suivante résume ce qui précède.

Règle: la résistance totale de deux ou plusieurs résistances en parallèle de même valeur est égale à la valeur d'une résistance divisée par le nombre de résistances en parallèle.

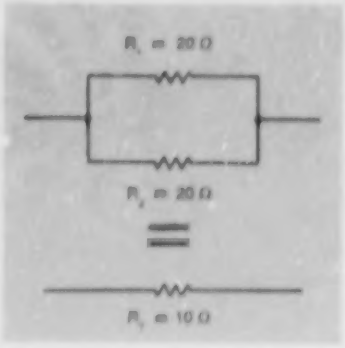


Fig. 12b

Exemples

Problème 1. Quelle est la résistance équivalente de deux résistances en parallèle de 1 500 Ω?

Solution. $R = \frac{1\,500}{2} = 750\ \Omega$

Problème 2. Quelles peuvent être les valeurs des résistances parallèle équivalentes à une résistance de 500 Ω?

Solution. Puisque 500 × 2 = 1 000, 2 résistances en parallèle de 1000 Ω, remplacent parfaitement une seule résistance de 500 Ω. De la même façon, 500 × 3 = 1 500 ou 3 résistances de 1 500 Ω, et ainsi de suite.

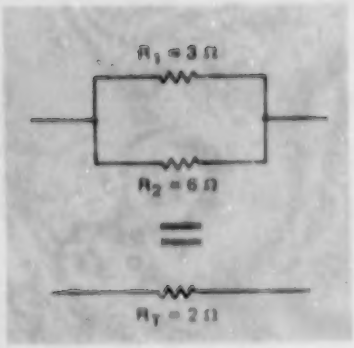


Fig. 12 c

16 Deux ou plusieurs résistances inégales montées en parallèle

Supposons que sur la figure 12c, R_1 et R_2 valent respectivement 3 Ω et 6 Ω. Nous pouvons calculer la résistance totale en appliquant la formule générale pour deux résistances en parallèle, soit:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Substituons les valeurs de R_1 et de R_2:

$$R = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2\ \Omega$$

Exemple

Problème. Les résistances de deux éléments chauffants raccordées en parallèle sont de 20 Ω et 60 Ω. Quelle est leur résistance totale?

Solution. $R = \dfrac{20 \times 60}{20 + 60} = 15\ \Omega$

17 Plusieurs résistances inégales montées en parallèle

Vous venez d'apprendre à l'aide de méthodes très simples comment calculer la résistance totale ou équivalente de n'importe quel nombre de résistances en parallèle égales et de deux résistances en parallèle inégales.

Certains circuits comprennent plusieurs résistances inégales en parallèle. La méthode pour calculer la résistance équivalente de ces

circuits ne sera pas expliquée parce qu'elle comporte des fractions compliquées et que vous n'aurez probablement pas à l'utiliser.

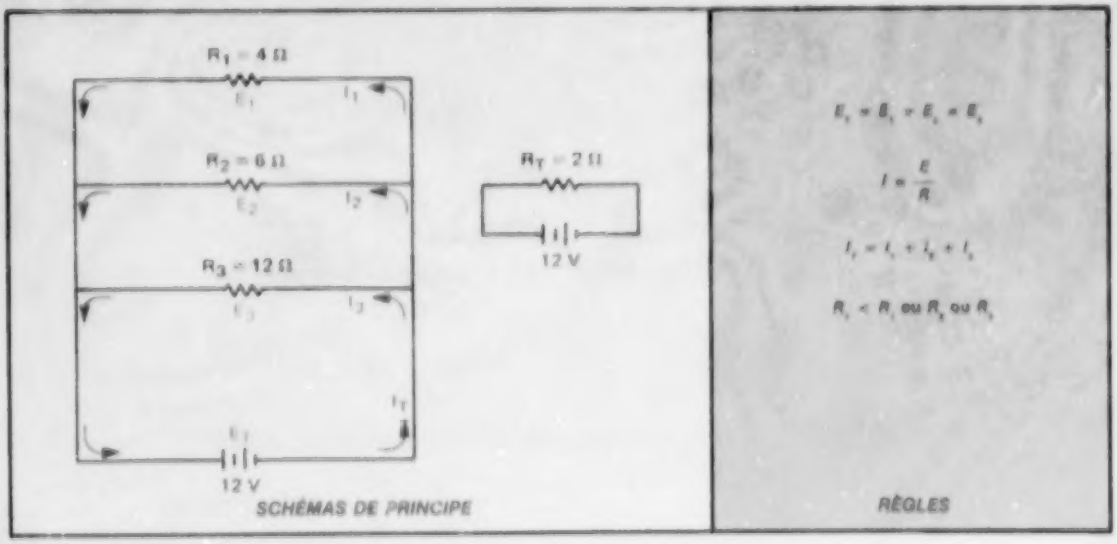
Ce dont vous devez cependant vous souvenir, c'est que la résistance totale ou équivalente de n'importe quel nombre de résistances en parallèle est toujours inférieure à la plus faible des résistances. Par exemple, si cinq résistances de 4 Ω, 12 Ω, 20 Ω, 72 Ω et 91 Ω sont raccordées en parallèle, leur résistance équivalente sera inférieure à 4 Ω, soit la plus faible résistance.

18 Autre méthode de calcul de la résistance totale

Il existe une méthode indirecte, mais simple, pour calculer la résistance totale ou équivalente de plusieurs résistances en parallèle. Supposons d'abord une valeur de la tension si elle n'est pas donnée. Calculons ensuite le courant dans chaque resistance, additionnons les courants pour connaître la tension appliquée, puis divisons par le courant total. Nous obtenons ainsi la résistance équivalente.

Sur la figure 13 par exemple, trois résistances de 4 Ω, 6 Ω et 12 Ω sont raccordées en parallèle. Pour calculer la résistance totale,

Fig. 13. La résistance équivalente à plusieurs résistances en parallèle est toujours inférieure à la plus faible des résistances. Cette règle s'applique à tous les circuits parallèle.



nous devons d'abord supposer une certaine valeur pour la tension de la source, soit 12 V. En appliquant la loi d'Ohm pour les courants:

$$I = \frac{E}{R}$$

nous calculons le courant dans chaque résistance.

Ainsi le courant I_1 dans R_1 =

$$I_1 = \frac{12}{4} = 3 \text{ A}$$

le courant I_2 dans R_2 =

$$I_2 = \frac{12}{6} = 2 \text{ A}$$

le courant I_3 dans R_3 =

$$I_3 = \frac{12}{12} = 1 \text{ A}$$

Le courant total est donc de 3 + 2 + 1 = 6 A

Maintenant, si nous divisons la tension par le courant total, nous obtenons la résistance équivalente:

$$R_T = \frac{E_T}{I_T} = \frac{12}{6} = 2\ \Omega$$

Exemple

Problème. Quelle est la résistance totale de trois résistances raccordées en parallèle dont les valeurs sont $R_1 = 6\ \Omega$, $R_2 = 16\ \Omega$, $R_3 = 48\ \Omega$?

Solution. Pour faciliter les calculs, supposons que la tension soit de 48 V. Donc l'intensité du courant dans chaque résistance est:

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{48 \text{ V}}{6\ \Omega} = 8\text{A}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{48 \text{ V}}{16\ \Omega} = 3\text{A}$$

$$I_3 = \frac{E}{R_3} = \frac{48 \text{ V}}{48\ \Omega} = 1\text{A}$$

Pour calculer I_T, on additionne les courants

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= 8\text{A} + 3\text{A} + 1\text{A}$$

$$I_T = 12\text{A}$$

Nous pouvons alors calculer la résistance totale:

$$R_T = \frac{E_T}{I_T} = \frac{48}{12} = 12\ \Omega \text{ (réponse)}$$

19 Les circuits parallèle: résumé

Les règles suivantes, s'exprimant par les formules de la figure 13, résument l'étude des circuits parallèle. Mémorisez-les, car vous en aurez souvent besoin.

1. La tension aux extrémités de chaque résistance en parallèle est *égale* à la tension appliquée.
2. Pour calculer le courant circulant dans *chaque* branche en parallèle, il faut diviser la tension par la résistance de cette branche.
3. Le courant total circulant dans un circuit parallèle est égal à la *somme* des courants dans les branches du circuit.
4. La résistance totale de plusieurs branches en parallèle est toujours *inférieure* à la résistance de n'importe laquelle des branches.

Exercice de contrôle 2

Voici quelques questions qui vous permettront d'évaluer vos connaissances sur les circuits parallèles. Si certaines de vos réponses sont inexactes, révisez la section appropriée avant d'aller plus loin.

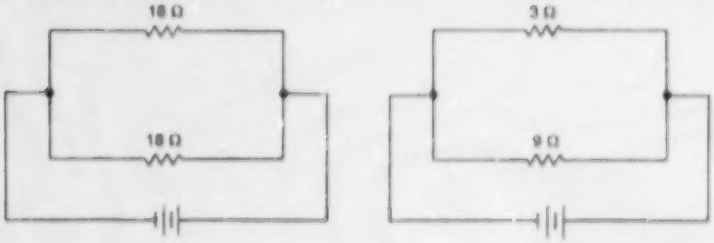
1. S'il y a une coupure dans une seule branche d'un circuit parallèle, le passage du courant (est, n'est pas) _____ interrompu.

2. La résistance totale d'un circuit parallèle est toujours _____ la résistance de n'importe laquelle des branches du circuit.

3. Dans tout circuit parallèle, le courant _____ est égal à la somme des courants des branches.

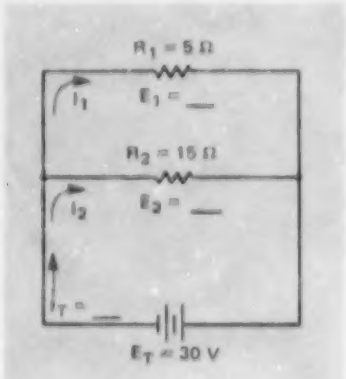
4. Dans un circuit parallèle, la même _____ est appliquée à chaque branche en parallèle.

5. Calculez les résistances équivalentes aux deux circuits suivants:



a. *b.*

Étudiez attentivement le circuit ci-dessous et répondez à la question 6.



6. *a.* $E_1 = ?$
   b. $E_2 = ?$
   c. $I_1 = ?$
   d. $I_2 = ?$
   e. $I_T = ?$
   f. $R_T = ?$

Vos réponses

1. _____

2. (*Cochez la bonne réponse*)
   ___ supérieure à
   ___ identique à
   ___ inférieure à

3. _____

4. _____

5. *a.* _____
   b. _____

6. *a.* _____
   b. _____
   c. _____
   d. _____
   e. _____
   f. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 2

1. n'est pas — Section 12
2. inférieure à — Section 13
3. total — Section 13
4. tension — Section 13
5. a. 9 Ω — Section 15 — $(18 \div 2 = 9)$
   b. 2,25 Ω — Section 16 — $\frac{3 \times 9}{3 + 9} = \frac{27}{12} = 2{,}25\ \Omega$
6. a. 30 V — Section 19 — $(E_1 = E_2 = E_T)$
   b. 30 V — Section 19
   c. 6 A — Section 19
   d. 2 A — Section 19 — $(I_2 = \frac{30}{15} = 2\ A)$
   e. 8 A — Section 19 — $(I_T = I_1 + I_2 = 8\ A)$
   f. 3,75 Ω — Sections 18 et 19 — $(R_T = \frac{E_T}{I_T} = \frac{30}{8} = 3{,}75\ \Omega)$

Résistances montées en série-parallèle

20 Circuits série-parallèle

On appelle *circuit série-parallèle*, un circuit dans lequel les résistances sont raccordées en série et en parallèle. Ils portent aussi le nom de circuits mixtes ou complexes. La figure 14 représente ce type de circuit. La résistance R_1 est raccordée à la source de tension, R_2 et R_3 sont raccordées en parallèle et les deux sont raccordées en série avec R_1. Le courant total du circuit circule dans R_1. Au-delà de R_1, le courant se divise: une partie circule dans R_2 et l'autre dans R_3. À l'autre extrémité des résistances en parallèle, les courants dans R_2 et R_3 se rejoignent. Le courant circule finalement dans l'interrupteur pour retourner à la borne positive de l'accumulateur.

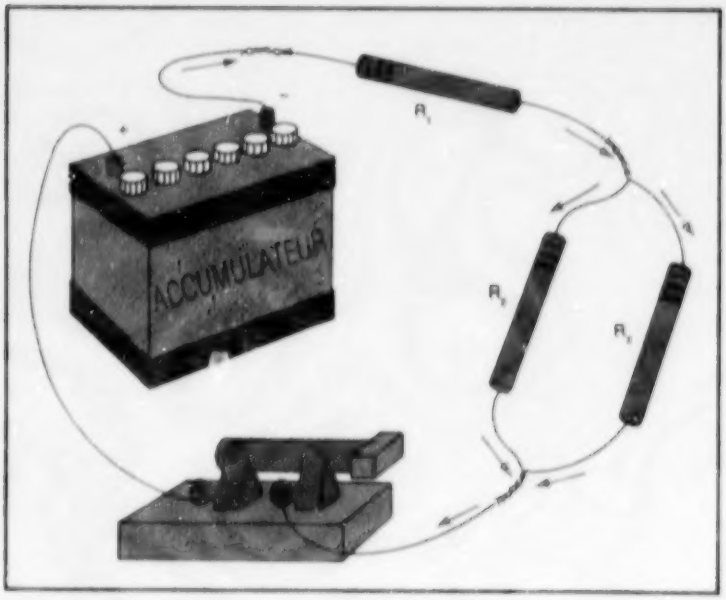


Fig. 14. Dans ce circuit série-parallèle comprenant un accumulateur, une résistance en série, deux résistances en parallèle et un interrupteur, le courant se divise entre R_2 et R_3.

Comme vous le savez, une coupure dans l'une ou l'autre résistance (R_2 ou R_3) n'interrompt pas le passage du courant, alors qu'une coupure dans les deux résistances causerait une panne. Une coupure en tout autre point du circuit interromprait le passage du courant.

21 Résistance totale dans un circuit série-parallèle

La figure 15 représente schématiquement le circuit mixte de la figure 14. Seules les deux résistances R_2 et R_3 sont raccordées en parallèle.

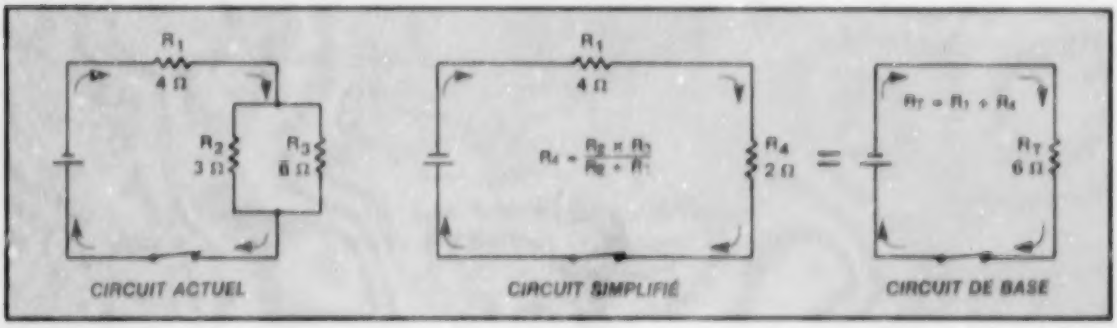


Fig. 15. Dans le circuit série-parallèle de gauche, R_2 et R_3 sont remplacées par R_4 pour donner le circuit simplifié du centre. Il est alors facile de calculer la résistance totale du circuit tel que le montre le circuit de base de droite. Lorsqu'on simplifie ou modifie un circuit complexe, on parle de «simplification de circuit».

Ces résistances peuvent être remplacées par une seule résistance R_4 égale à la somme de R_2 et R_3, tel que le montre le circuit simplifié. La résistance R_4 est raccordée en série avec R_1. Donc la résistance totale R_T du circuit est égale à la somme de R_1 et de R_4, tel que le montre le circuit de base.

La formule suivante permet de calculer la résistance totale du circuit.

$$R_T = R_1 + R_4$$

Puisqu'il a été établi que R_4 était égale aux résistances combinées de R_2 et R_3:

$$R_4 = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3}$$

Si, en se référant toujours à la figure 15, R_1 est de 4 Ω, R_2 de 3 Ω et R_3 de 6 Ω, la formule suivante permet d'établir que la résis-

tance totale du circuit est de 6 Ω:

$$R_4 = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2\ \Omega$$

$$R_T = R_1 + R_4 = 4 + 2 = 6\ \Omega$$

22 Courants dans un circuit série-parallèle

Une fois que la résistance totale (R_T) du circuit et que la f.é.m. (E_T) de l'accumulateur de la figure 15 ont été déterminées, on peut calculer le courant total (I_T) circulant dans le circuit en appliquant la loi d'Ohm. Lorsqu'on travaille avec ce type de circuit, on connaît habituellement la force électromotrice (f.é.m.) de l'accumulateur ou d'un générateur électrique.

Si la f.é.m. (tension) de l'accumulateur (fig. 15a) est de 12 V, le courant total dans ce circuit est donc de 2 A puisque:

$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{12}{6} = 2\ \text{A}$$

Puisque R_1 est raccordée en série avec l'accumulateur, le courant total circule dans R_1, et par conséquent $I_1 = I_T$. La chute de tension (E_1) dans R_1 est alors:

$$E_1 = I_1 \times R_1 = 2 \times 4 = 8\ \text{V}$$

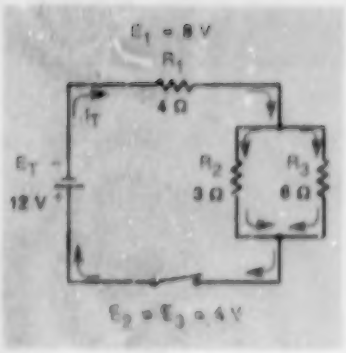


Fig. 15a

En soustrayant cette tension de la tension totale (E_T), on obtient la chute de tension dans la combinaison en parallèle de R_2 et R_3, alors:

$$E_4 = E_T - E_1 = 12 - 8 = 4\ \text{V}$$

Puisque R_2 et R_3 sont raccordées en parallèle, la chute de tension dans les deux résistances est la même soit: $E_4 = E_2 = E_3$. Nous pouvons donc calculer l'intensité du courant dans chacune des résistances en divisant cette chute de tension par la valeur de ces résistances:

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{4}{3} = 1{,}333\ \text{A}$$

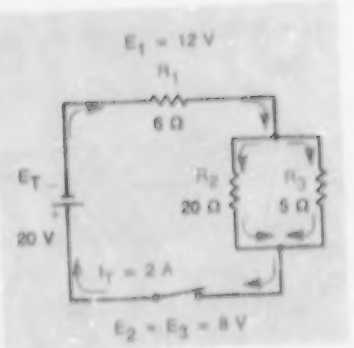
et

$$I_3 = \frac{E_3}{R_3} = \frac{4}{6} = 0{,}667\ \text{A}$$

Notez que la somme de I_2 et I_3 est égale à I_1 qui, à son tour, égale I_T

$$1{,}333 + 0{,}667 = 2 \text{ A}$$

Exemple



Problème. Supposons que l'accumulateur dans ce circuit ait une tension (f.é.m.) de 20 V et que R_1, R_2 et R_3 soient respectivement de 6 Ω, 20 Ω et 5 Ω. Trouvez R_T, I_T, I_1, I_2, I_3, E_1, E_2 et E_3.

Solution. Le problème semble plus compliqué qu'il ne l'est en réalité. En décomposant le circuit, nous pouvons résoudre ce problème facilement en appliquant la loi d'Ohm:

Trouvons d'abord R_4 et R_T:

$$R_4 = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} = \frac{20 \times 5}{20 + 5} = \frac{100}{25} = 4 \ \Omega$$

$$R_T = R_1 + R_4 = 6 + 4 = 10 \ \Omega$$

Trouvons maintenant I_T:

$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{20}{10} = 2 \text{ A}$$

Puisque R_1 est raccordée en série avec l'accumulateur, $I_1 = I_T = 2$ A

Calculons maintenant E_1 et E_4, soit la chute de tension dans les branches en parallèle:

$$E_1 = I_1 \times R_1 = 2 \times 6 = 12 \text{ V}$$
$$E_4 = E_T - E_1 = 20 - 12 = 8 \text{ V}$$

Puisque R_2 et R_3 sont raccordées en parallèle, $E_4 = E_2$ et I_3 en appliquant la loi d'Ohm aux 2 résistances montées en parallèle:

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{8}{20} = 0{,}4 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{E_3}{R_3} = \frac{8}{5} = 1{,}6 \text{ A}$$

Notez que la somme de I_2 et I_3 est encore égale à I_T puisque le courant total se divise lorsqu'il circule dans les résistances en parallèle.

Exercice de contrôle 3

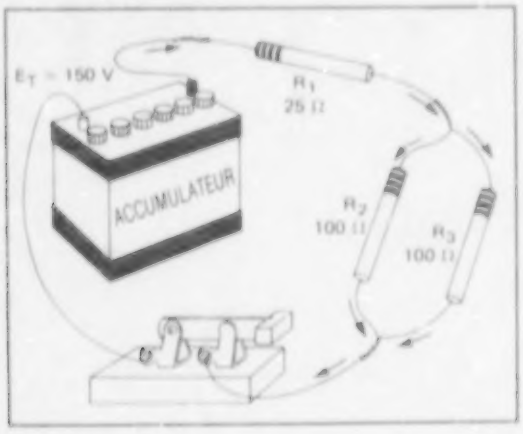
Faites une pause de quelques minutes pour revoir certains points importants avant de passer l'examen personnel. Comparez vos réponses aux nôtres et faites une révision si nécessaire.

Les questions suivantes se rapportent au dessin ci-dessous:

1. Quelle est la résistance totale du circuit?

2. Si un courant de 2 A circule dans R_1, la tension aux bornes de R_1 est de _____ V et la tension E_2 ou E_3 est de _____ V.

3. Quels sont les courants dans R_2 et R_3?



Vos réponses

1. R_T _____ Ω

2. E_1 _____ V
   $E_2 = E_3 =$ _____ V

3. $I_2 =$ _____ A
   $I_3 =$ _____ A

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 3

1. R_T = 75 Ω Section 20
(Puisque R_2 et R_3 valent 100 Ω, leur résistance équivalente est 100 ÷ 2 = 50 Ω. Cette résistance de 50 Ω est en série avec R_1 (25 Ω) et R_T = 50 + 25 = 75 Ω.)

2. E_1 = 50 V et $E_2 + E_3$ = 100 V Section 22
(Appliquez la loi d'Ohm, $E = I \times R$
$E_1 = 2 \times 25 = 50$ V.
La tension de la source 150 V, moins 50 V donne une chute de 100 V dans E_2 et E_3).

3. $I_2 = I_3 = 1$ A Section 22
(Puisque les résistances sont égales, la moitié du courant totale (2 A) circule dans chaque résistance. On peut aussi appliquer la loi d'Ohm: $I_2 = \frac{E}{R_2}$ ou $I = 100 \div 100 = 1$A.)

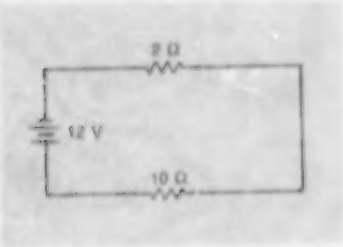
Examen personnel

Lisez attentivement chacun des énoncés suivants et assurez-vous de bien les comprendre. Chaque énoncé est accompagné de quatre mots, phrases ou symboles, dont un seulement est exact. Apposez un X sur la lettre qui correspond à votre réponse.

1. Quelle est la résistance totale d'un circuit série ayant des résistances de 6 Ω et 4 Ω?

   A. 2 Ω
   B. 4 Ω
   C. 6 Ω
   D. 10 Ω

2. Quelle est l'intensité du courant circulant dans la résistance de 2 Ω du circuit représenté ci-dessous?



   A. 1 A
   B. 1,2 A
   C. 6 A
   D. 12 A

3. Deux résistances inégales sont montées en série dans un circuit alimenté par une source de tension de 18 V. Si la chute de tension dans une des résistances est de 7 V, quelle est la chute de tension dans l'autre?

   A. 7 V
   B. 11 V
   C. 18 V
   D. 77 V

4. Si la résistance totale d'un circuit série est de 15 Ω et que l'intensité du courant est de 3 A, quelle est l'intensité du courant si la résistance est de 30 Ω et que la tension demeure la même?

   A. 1,5 A
   B. 3 A
   C. 6 A
   D. 10 A

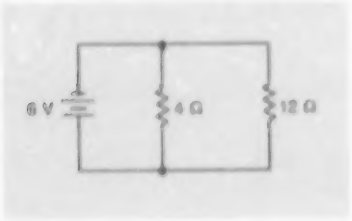
5. Dans un circuit parallèle comprenant deux résistances, quel est le courant total si l'intensité du courant circulant dans ces résistances est de 9 A et 3 A?

   A. 3 A
   B. 6 A
   C. 12 A
   D. 27 A

6. Quelle est la résistance équivalente à quatre résistances de 32 Ω raccordées en parallèle?

A. 1 Ω
B 4 Ω
C. 8 Ω
D. 128 Ω

7. Quelle est la résistance équivalente du circuit ci-dessous?



A. 1 Ω
B. 2 Ω
C. 3 Ω
D. 8 Ω

8. Quelle est la résistance équivalente à plusieurs résistances raccordées en parallèle, si la plus petite de ces résistances est de 8 Ω?

A. 4 Ω
B. 14 Ω
C. 30 Ω
D. 176 Ω

9. Le courant total circulant dans trois résistances raccordées en parallèle est de 2 A. Quelle est leur résistance équivalente si la tension appliquée est de 24 V?

A. 2 Ω
B. 6 Ω
C. 8 Ω
D. 12 Ω

10. Deux résistances sont raccordées en parallèle aux bornes d'un accumulateur de 48 V. Si la chute de tension dans l'une des résistances est de 48 V, quelle est la chute de tension dans la deuxième?

A. 0 V
B. 24 V
C. 48 V
D. 96 V

Vous trouverez les réponses à la page 292.

Montages de circuits élémentaires

AF0105

(Lexiques)

Français	Anglais
Ampèremètre	Ammeter
Batterie	Battery
Branche	Branch
Chute de tension	Voltage Drop
Circuit coupé	Broken Circuit
Circuit fermé	Closed Circuit
Circuit ouvert	Open Circuit
Courant continu	Direct-Current
Diagramme	Diagram
Différence de potentiel (D.D.P.)	Potential Difference
Intensité de courant	Current Strength
Interrupteur	Switch
Interrupteur à bascule	Toggle Switch
interrupteur à couteau	Knife Switch
Lame	Blade
Lampe de poche	Flashlight
Montage	Pictorial
Parcours	Path
Pile	Cell
Règle	Rule
Résistance	Resistor
Schéma de principe	Schematic Diagram
Schématique	Schematic
Tension	Voltage
Voltmètre	Voltmeter

Anglais	Français
Ammeter	Ampèremètre
Battery	Batterie
Blade	Lame
Branch	Branche
Broken Circuit	Circuit coupé
Cell	Pile
Closed Circuit	Circuit fermé
Current Strength	Intensité de courant
Diagram	Diagramme
Direct-Current	Courant continu
Flashlight	Lampe de poche
Knife Switch	Interrupteur à couteau
Open Circuit	Circuit ouvert
Path	Parcours
Pictorial	Montage
Potential Difference	Différence de potentiel (D.D.P.)
Resistor	Résistance
Rule	Règle
Schematic	Schématique
Schematic Diagram	Schéma de principe
Switch	Interrupteur
Toggle Switch	Interrupteur à bascule
Voltage	Tension
Voltage Drop	Chute de tension
Voltmeter	Voltmètre

Outillage et vocabulaire de l'électricité

AF0106

Outillage et vocabulaire de l'électricité

Objectifs d'enseignement

Il est maintenant temps de connaître la nature de l'électricité et quelques-uns des outils utilisés par un électricien d'entretien. Ces sujets seront traités brièvement, car ils feront l'objet d'une étude plus approfondie dans une leçon subséquente.

Lorsque vous aurez terminé cette leçon, vous devriez être en mesure:

- *de définir un électron et d'expliquer la nature de l'électricité.*
- *de faire la distinction entre tension et intensité.*
- *de calculer les besoins en ampères d'un système lorsqu'on connaît l'ampérage de l'équipement et des appareils électriques de celui-ci.*
- *de choisir le calibre approprié d'un fil selon l'intensité admissible de ce dernier.*
- *de calculer la puissance électrique en fonction de la tension et de l'intensité.*
- *de déterminer le type de câble approprié en fonction des emplacements et des applications.*
- *d'expliquer la différence entre la puissance en kilowatts et l'utilisation de l'énergie électrique exprimée en kilowatts-heures.*
- *de recommander les dimensions appropriées d'une boîte de sortie en fonction du nombre de conducteurs.*
- *de couper, de joindre et de bien raccorder des fils aux vis des bornes.*
- *de souder une connexion de manière appropriée.*

Table des matières

Étude de l'électricité

L'électricité en attente dans les fils	177
Circulation du courant	178
Pression électrique ou tension	179
Calcul de l'intensité du courant	180
Définition du watt	181
Collaboration avec la compagnie d'électricité	183
Exercice de contrôle 1	185

Câbles et fils

Le câble	186
Entretien du câble non métallique	187
Diamètre des fils	188
Puissance en watts	188
Exercice de contrôle 2	190

Boîtes, conduits, connexions et soudures

Boîtes de sortie	191
Appareils et prises dans les boîtes	192
Conduits	193
Coupage, épissage et raccordement des fils	194
Bonne technique de soudage	196
Types de soudures	196
Flux décapant	196
Joint soudé	197
Fers et pistolets à souder	198
Exercice de contrôle 3	200

Examen personnel 201

Lexiques 203

Étude de l'électricité

1 L'électricité en attente dans les fils

En tant que futur électricien d'entretien, vous vous êtes sûrement posé des questions sur la nature de l'électricité. C'est *le déplacement des électrons*, mais en quoi consistent les électrons?

Les *électrons* sont plus petits que les particules microscopiques présentes dans la matière. Leur caractéristique importante est de posséder une charge électrique. Les électrons ont tous le même genre de charge: *négative*. L'action des charges négative ⊖ et positive ⊕ est identique à celle des pôles (nord et sud) d'un aimant.

La charge électrique d'un électron agit comme un champ magnétique. Toutes les charges négatives agissent de la même manière: elles se repoussent mutuellement. Les électrons ne peuvent donc pas se toucher. Seules leurs charges ont une action réciproque ce qui garde les électrons éloignés les uns des autres.

Il y a des milliards d'électrons libres dans les fils électriques ou conducteurs et ils y sont répartis uniformément comme le montre la figure 1. Si les électrons sont déplacés ou circulent dans le fil, ils produisent un courant électrique.

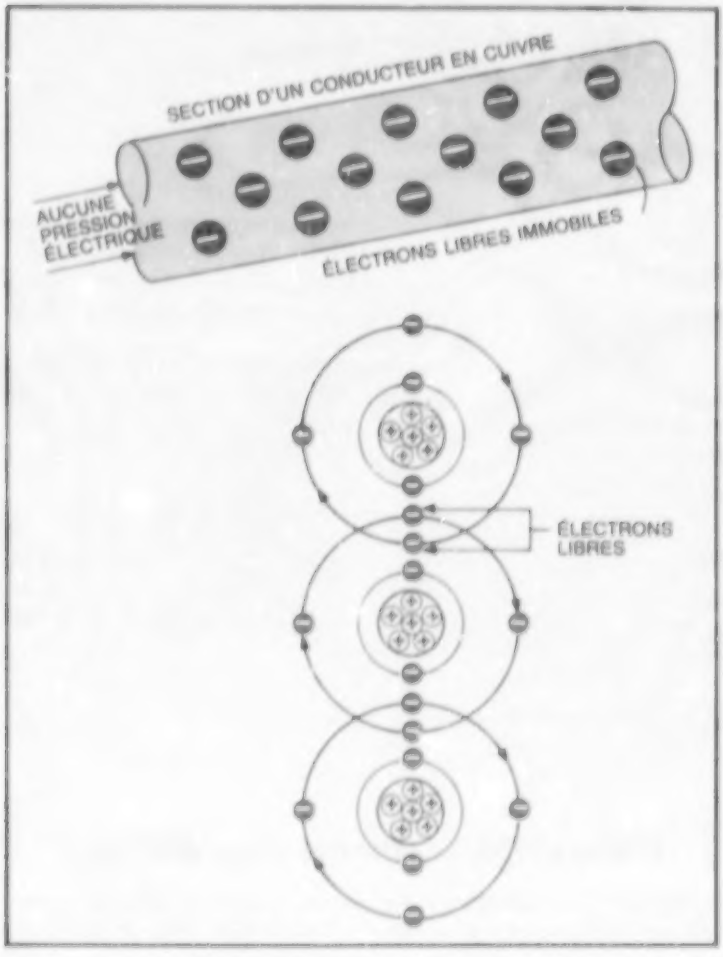


Fig. 1. Il y a une très grande quantité d'électrons libres dans tout conducteur, par exemple dans un fil de cuivre.

2 Circulation du courant

Puisque le poids des électrons est très faible et que les électrons ont tous une charge identique, dès que l'un d'eux est déplacé, les autres se repoussent mutuellement et circulent à l'intérieur du fil. En principe, ils se déplacent tous dans la même direction, comme le montre la figure 2.

Dès qu'un électron cesse de se déplacer, tous les autres en font autant. C'est comme s'ils étaient tous reliés les uns aux autres pour ne former qu'une seule pièce.

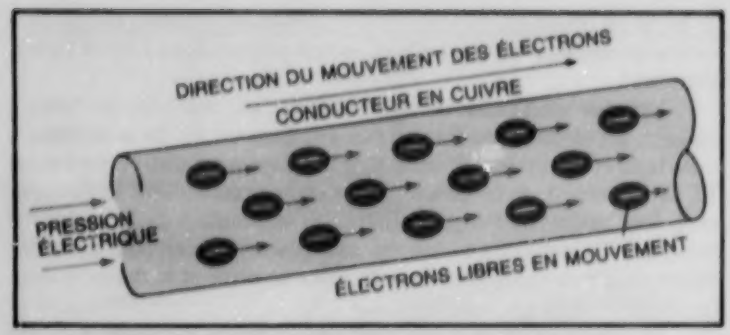


Fig. 2. Lorsque les électrons se déplacent, ils produisent un courant et peuvent effectuer un travail. Aucun électron ne se déplace d'un bout à l'autre du conducteur. Le mouvement est comparable à celui provoqué par une locomotive heurtant une rame de wagons sur une voie ferrée. Lorsque la locomotive heurte une des extrémités de la rame, chaque wagon à son tour, frappe le suivant.

Pour effectuer un travail, les électrons doivent être en mouvement. Lorsqu'ils sont au repos, ils ne travaillent pas. Les électrons doivent être déplacés pour effectuer un *travail*. Il y a travail par exemple lorsqu'on allume une lumière ou qu'on branche une perceuse électrique.

La direction dans laquelle se déplacent les électrons importe peu. Ils peuvent commencer dans une direction, s'arrêter, pivoter et continuer dans la direction opposée. Ce qui importe c'est qu'ils se déplacent lorsqu'ils doivent se déplacer. Le travail s'effectue du moment que les électrons se déplacent.

Le déplacement des électrons s'appelle le courant électrique. Le courant peut être continu ou alternatif. Dans les secteurs industriel et résidentiel, le courant le plus utilisé est le courant alternatif, qui change de sens à un rythme de 60 cycles par seconde ou 60 Hz (hertz). On appelle *fréquence* du courant, le nombre de cycles complets durant une seconde.

3 Pression électrique ou tension

Comme on le voit sur la figure 3, on peut forcer les électrons à se déplacer en introduisant une plus grande quantité de ceux-ci dans

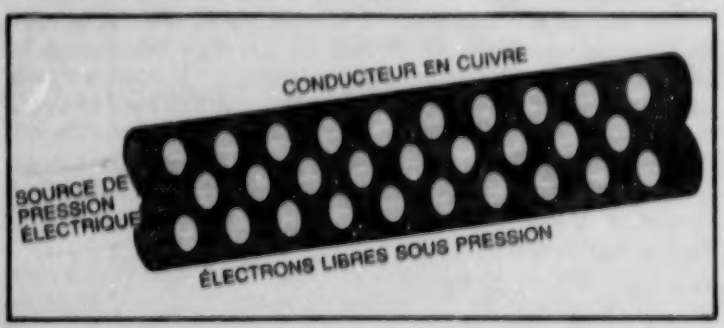


Fig. 3. Lorsqu'on applique une tension (pression électrique) à un fil, les électrons libres sont entassés sous pression. Noter qu'il y a beaucoup plus d'électrons dans cette section du fil qu'il n'y en avait dans les schémas précédents.

le fil. Il est toutefois impossible d'y introduire d'autres électrons à moins qu'une quantité équivalente ne soit poussée hors du fil à l'autre extrémité.

Lorsque vous branchez une baladeuse sur une prise de courant murale, les électrons se font un passage dans un fil. Ils se déplacent dans le fil et traversent le filament de la lampe pour sortir dans l'autre fil. À l'intérieur de la lampe, les électrons réchauffent le filament et le font briller: la lampe s'allume. Si le filament de la lampe est brisé, les électrons ne peuvent pas se déplacer. Le parcours est maintenant *ouvert* ou incomplet. Les électrons ne peuvent se déplacer dans un circuit ouvert ou incomplet.

La pression requise pour faire circuler les électrons dans un fil s'appelle tension. Les électriciens travaillent surtout avec une pression électrique de 120/240 V (volts). Dans les secteurs industriel et résidentiel, la tension est généralement de 120 V. La plupart des équipements et appareils électriques sont conçus pour fonctionner sur une tension de 120/240 V.

Normalement il y a toujours une tension dans les prises de courant murales. Cependant, un travail ne peut être effectué que lorsque la tension fait circuler l'électricité dans un circuit.

4 Calcul de l'intensité du courant

La pression électrique fait circuler l'électricité. **L'intensité du courant est mesurée en ampères.**

Peu importe le sens du courant ou si celui-ci est continuellement inversé comme dans les systèmes à courant alternatif (c.a.). Ce qui importe, c'est la quantité d'électrons circulant dans une certaine section transversale du fil. Sur la figure 4, on voit, par exemple, qu'on peut mesurer le courant traversant la section à l'aide d'un ampèremètre.

À mesure que le courant circule, le travail effectué produit de l'énergie sous forme de chaleur ou d'énergie mécanique. Le courant a tendance à chauffer son conducteur. Si le courant circule dans le filament d'une lampe, ce filament est chauffé à blanc et fournit de la *lumière*. Lorsqu'il circule dans l'élément chauffant d'un four de traitement thermique, les éléments sont chauffés au rouge et chauffent la pièce. Le courant qui circule dans les enroulements d'un moteur produit un champ magnétique. Ce champ fait tourner le moteur et fournit de l'énergie mécanique.

L'intensité du courant électrique dépend des appareils ou charges. On dit qu'une charge requiert un certain nombre d'ampères.

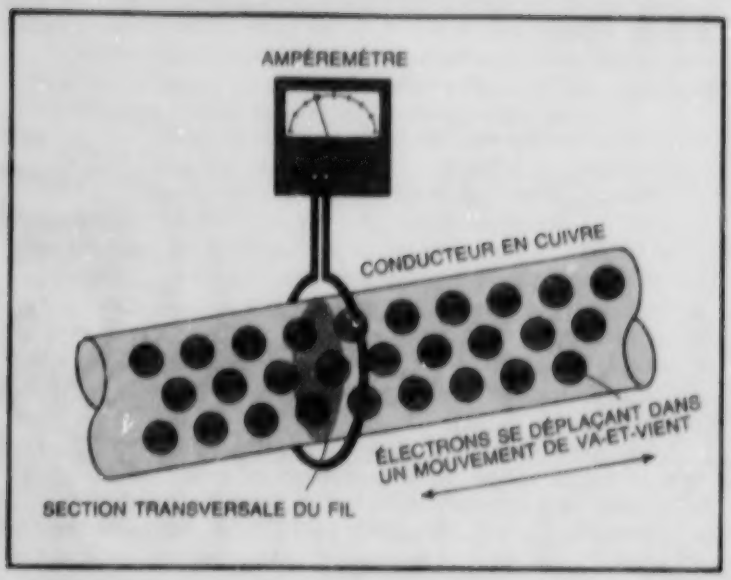


Fig. 4. Le courant électrique ou l'intensité mesurée par un ampèremètre représente la quantité d'électrons traversant une section transversale d'un fil.

Si vous additionniez tous les ampères utilisés dans votre maison, vous constateriez que vous avez besoin d'environ 100 A (ampères). En général, un téléviseur exige 1 A, un grille-pain 10 A, un réfrigérateur-congélateur 7 A et un climatiseur 10 A. Dans l'industrie, les besoins en électricité sont encore plus grands. Certaines charges électriques consomment plus de courant au démarrage qu'en cours de fonctionnement. Un climatiseur moyen tel que le représente la figure 5 peut exiger 22 A au démarrage. Lors de l'installation d'un système électrique qui peut fournir l'intensité totale nécessaire, il faut supposer que toutes les charges sont mises en circuit en même temps.

La tension de 120/240 V demeure essentiellement la même en tout temps. L'intensité du courant utilisée varie selon la mise en circuit ou hors circuit des différentes charges (appareils et équipement). La compagnie d'électricité facture les consommateurs en fonction de la quantité de courant utilisé à partir de ses fils.

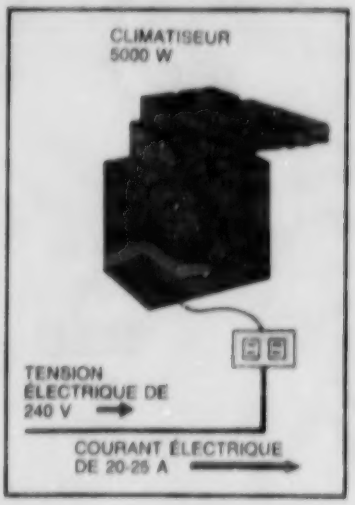


Fig. 5. Il faut tenir compte de l'intensité maximale admissible du câblage électrique de votre maison surtout s'il doit supporter de lourdes charges comme ce climatiseur de 5 000 W. Il en est de même dans l'industrie. Le système électrique doit pouvoir supporter la charge maximale prévue.

5 Définition du watt

Prenons une ampoule électrique et examinons-la. Il y est inscrit 50 W ou 100 W. Le nombre de watts (W) équivaut à la puissance nécessaire pour allumer une ampoule.

La puissance électrique est mesurée en watts. On obtient un watt en multipliant un volt par un ampère. Si E est la tension et I

le courant, la puissance P en watts peut être calculée à l'aide de la formule suivante:

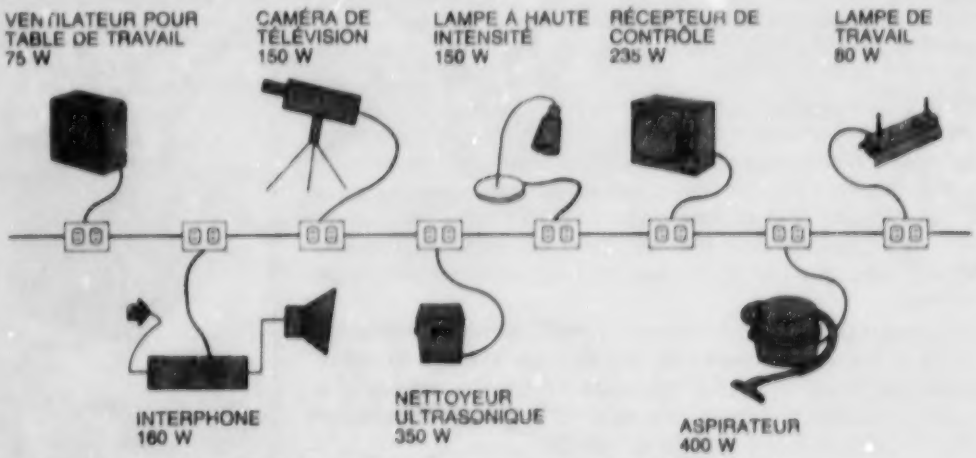
$$P = E \times I$$

Comme le watt est une très petite unité, la puissance est plus souvent mesurée en kilowatts. Un kilowatt est égal à 1 000 watts.

Nous ne payons pas la compagnie d'électricité pour la *puissance;* cette puissance en watts n'est que *l'intensité* à laquelle le travail est effectué. Elle ne comprend pas la période couverte par cette intensité. Nous payons pour l'*énergie* c'est-à-dire la puissance utilisée pendant une certaine période. Par exemple, un watt multiplié par une heure représente un watt-heure. L'unité d'énergie généralement utilisée est le kilowatt-heure (kW•h), soit la quantité d'énergie utilisée lorsqu'un kilowatt de puissance est fourni par la compagnie d'électricité pendant une heure.

La figure 6 représente quelques appareils. S'ils fonctionnaient tous en même temps, ils consommeraient 1 600 W ou 1,6 kW

Fig. 6. Si tous ces appareils fonctionnaient en même temps, vous utiliseriez 1 600 W d'électricité; 1 600 W d'électricité utilisés pendant une heure représentent 1,6 kW•h (kilowatt-heure).



APPAREIL	PUISSANCE NOMINALE W
VENTILATEUR POUR TABLE DE TRAVAIL	75
CAMÉRA DE TÉLÉVISION	150
LAMPE À HAUTE INTENSITÉ	150
RÉCEPTEUR DE CONTRÔLE	235
LAMPE DE TRAVAIL	80
INTERPHONE	160
NETTOYEUR ULTRASONIQUE	350
ASPIRATEUR	400
TOTAL	1 600

(kilowatt). Si tout cet équipement fonctionnait pendant 2 heures (h), l'énergie consommée serait de: $2 \times 1{,}6 = 3{,}2$ kW•h

Le compteur d'électricité le plus utilisé est le kilowattheuremètre ou le wattmètre. Comme le montre la figure 7, les cadrans du compteur enregistrent la quantité d'énergie consommée.

CADRANS DU KILOWATT-HEUREMÈTRE

Fig. 7. Les cadrans de ce kilowattheuremètre se lisent de gauche à droite. Ils indiquent le nombre de kilowatt-heures consommés. La lecture est de 64 510 kW•h: le premier cadran indique 6, le deuxième 4, le troisième 5, le quatrième 1 et le cinquième 0.

Imaginez tout d'abord un flux d'électrons ayant un mouvement de va-et-vient dans un fil, à un rythme de 60 fois par seconde ou 60 Hz. N'oubliez pas que la tension est la *pression* qui provoque le déplacement des électrons, alors que l'intensité est la *mesure du flux* de ces électrons.

La puissance d'une charge, (récepteur) est celle dont le récepteur a besoin pour fonctionner normalement. Le relevé, en kilowattheuremètre, effectué sur kilowattheuremètre (compteur électrique) nous donne la quantité d'énergie qu'il faut payer à la compagnie qui fournit l'énergie électrique.

6 Collaboration avec la compagnie d'électricité

Dans les usines, les électriciens d'entretien doivent souvent travailler en étroite collaboration avec la compagnie d'électricité. Cette dernière doit fournir à l'usine la tension appropriée, soit 120/240/480 V. Elle doit également s'assurer qu'il y a suffisamment de courant disponible pour alimenter toute l'installation.

Les électriciens d'usine installent, maintiennent en bon état et réparent la plus grande partie de l'équipement électrique. Lorsqu'il s'agit d'une usine nouvelle ou modernisée, les circuits électriques, les amenées de courant et une partie de l'équipement sont quelquefois installés par des électriciens employés par un entrepreneur. Le seul appareil que l'électricien ne peut installer, c'est le wattmètre.

Il doit toutefois fixer le support qui reçoit le compteur fourni par la compagnie d'électricité.

Dans certains cas, le représentant de la compagnie d'électricité peut vouloir inspecter l'installation afin de s'assurer si elle est sécuritaire. S'il s'agit de nouvelles installations ou de restaurations majeures, la compagnie peut envoyer un inspecteur pour conseiller l'électricien et vérifier si l'installation répond aux normes. Les compagnies d'électricité ont établi des schémas de montage et des procédures pour faciliter le travail. Leurs conseils sont judicieux et devraient être suivis.

Il est utile de bien connaître l'équipement, les lignes et les services offerts par la compagnie d'électricité. C'est pourquoi on vous a fait voir l'installation électrique type d'une entreprise au début de votre formation.

Exercice de contrôle 1

Faites une courte pause afin de revoir quelques points importants. Si vos réponses ne correspondent pas aux nôtres, faites une révision des pages précédentes avant de poursuivre la leçon.

1. Vrai ou faux? L'électricité est le déplacement de charges positives.

2. Un flux d'électrons dans un fil s'appelle (courant, champ) _____ électrique.

3. Vrai ou faux? Puisqu'il y a toujours une pression électrique dans les prises de courant murales, un travail est effectué même si les électrons ne se déplacent pas.

4. On peut faire circuler les électrons dans un fil en appliquant une pression électrique appelée _____ .

Dans l'espace libre devant chaque groupe de mots à droite, inscrivez la lettre de la phrase ci-dessous qui l'explique le mieux.

5. *a.* Le genre de charge d'un électron
   b. Un mot signifiant électrons en mouvement
   c. Un autre mot signifiant fil
   d. Un effet ou un résultat visible du flux de courant.
   e. Un appareil utilisé pour mesurer la consommation d'énergie électrique.
   f. Une unité de puissance électrique
   g. Le symbole de la fréquence
   h. Le symbole du courant

Vos réponses

1. Vrai Faux
   (Encerclez la réponse)
2. _____
3. Vrai Faux
   (Encerclez la réponse)
4. _____

5. ___ Conducteur
   ___ Lumière
   ___ Kilowattheuremètre
   ___ Hz
   ___ A
   ___ Négatif
   ___ Watt
   ___ Courant

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 1

1. Faux Section 1
   (L'électricité est le déplacement des charges *négatives* appelées électrons).
2. Courant Section 1
3. Faux Section 2
   (Pour effectuer un travail, la pression doit faire circuler les électrons dans le circuit).
4. Tension Section 3
5. *c* Conducteur Section 1
   d Lumière Section 4
   e Kilowatt-heuremètre Section 5
   g Hz Section 2
   h A Section 4
   a Négatif Section 1
   f Watt Section 5
   b Courant Section 1

Câbles et fils

7 Le câble

La principale tâche d'un électricien d'entretien est d'installer, de maintenir en bon état et de réparer ou de remplacer des composants électriques. La conception et la planification peuvent également faire partie de son travail. Celui-ci n'est terminé que lorsque tous les composants sont installés et fonctionnent de façon satisfaisante. La suite de cette leçon traite des types de câbles, des conduits et des boîtes de sortie le plus souvent utilisés dans les résidences, les bureaux, les édifices commerciaux et les usines. Nous traiterons d'autres composants des circuits électriques ainsi que de leur utilisation et de leur entretien dans des leçons subséquentes.

L'équipement et les circuits électriques sont raccordés à la source d'alimentation par des fils. Ces fils transporteurs de courant sont généralement rassemblés pour former un *câble*. Le type de câble représenté dans la partie supérieure de la figure 8 est très courant; il s'agit d'un câble recouvert de plastique pour installation intérieure. Le câble représenté dans la section inférieure est un câble armé qui n'est plus

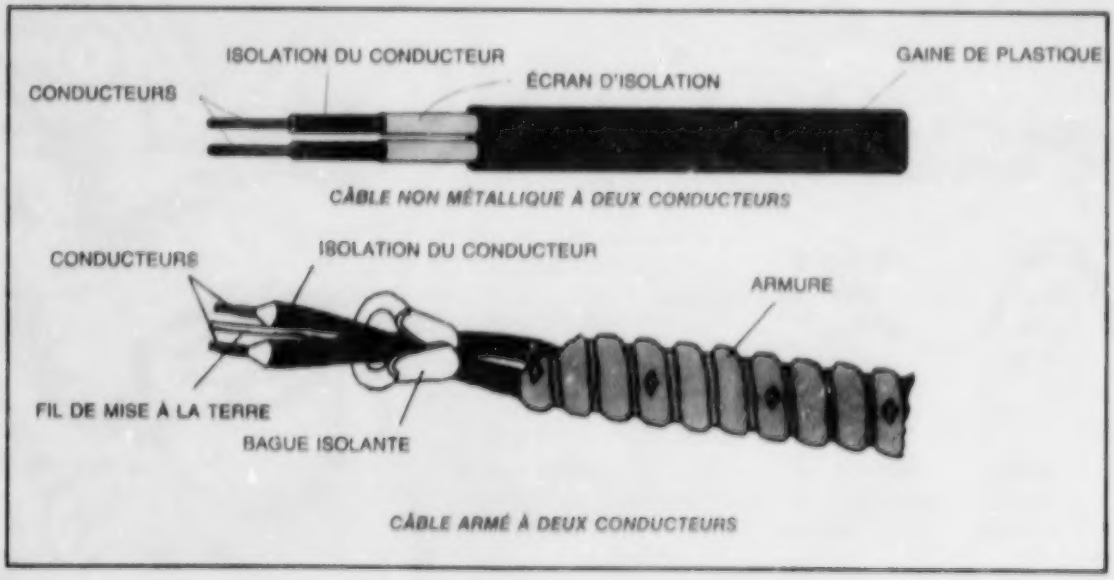


Fig. 8. Le type de câble électrique le plus courant pour les applications générales est le LOOMEX, un câble revêtu de plastique (CNM). Le type BX est un câble armé qui doit être utilisé là où il y a risque de dommages matériels.

tellement utilisé de nos jours. Le câble sous gaine de plastique qui a remplacé le câble armé à gaine métallique est aussi connu sous le nom de NM (câble non métallique).

Le câble armé s'utilise à l'intérieur, dans un endroit sec. Il ne peut être installé à l'extérieur ou dans des environnement qui favoriseraient la corrosion de la gaine métallique. L'armure du câble protège les conducteurs lorsqu'on les fait serpenter dans les murs. Elle sert aussi à protéger le câble contre les frottements une fois installé. «Faire serpenter» un câble signifie l'acheminer dans des espaces limités en contournant les obstacles.

Le câble à gaine de plastique est maintenant plus courant parce qu'il est plus flexible que le câble armé et plus facile à tirer et à dénuder. Ce dernier convient bien pour une installation dans des murs ouverts tandis que le câble à gaine de plastique est préférable quand il faut procéder au «tirage des fils». Dans ce cas, on fixe un fin ruban d'acier sur le câble afin de le tirer à travers les cloisons, les conduits et les tuyaux.

Le type de câble CNM, un câble armé non métallique, résiste également à la corrosion. Il peut être utilisé dans des endroits humides ou mouillés où il y a de la corrosion, y compris la cavité d'un bloc de béton à l'air ou sous terre. Il doit cependant être protégé contre tout dommage occasionné par des clous ou d'autres agents.

8 Entretien du câble non métallique

Les câbles non métalliques NM et CNM sont très utiles et doivent être manipulés avec soin sinon certains problèmes surgiront éventuellement. Un pliage trop brusque peut entraîner le fendillement de l'isolant des fils individuels et provoquer des courts-circuits. Si le fils défectueux est installé derrière un mur, il faudra peut-être défaire celui-ci pour repérer le défaut dans le câble.

L'isolant peut être endommagé si le câble est tiré brusquement près des coins tranchants. Les agrafes et les clous peuvent facilement percer la gaine de plastique. Lorsqu'on installe un câble NM ou CNM, on peut réduire les risques d'endommagement à la gaine de protection en vérifiant soigneusement au préalable les endroits où le câble doit passer.

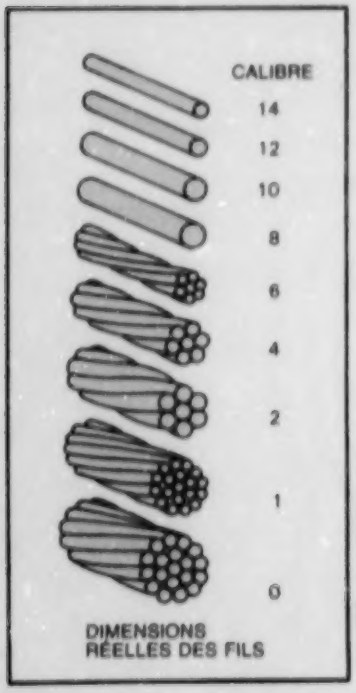


Fig. 9. Plus le fil est gros, plus le numéro de calibre est petit. Plus le fil est gros, plus l'intensité admissible est grande.

9 Diamètre des fils

La température d'un fil augmente en fonction de l'intensité du courant qui y circule. Les fils trop chauds peuvent causer des incendies. Si un courant de faible intensité circule dans un fil de gros calibre, la chaleur produite est minime. Plus le câble est gros, plus grande est l'intensité admissible sans danger de surchauffage. Toutefois, plus le câble est gros, plus il est difficile à manipuler et plus son coût est élevé. L'électricien doit donc installer un fil suffisamment gros pour répondre aux normes de sécurité sans toutefois gaspiller du courant.

La section (grosseur) des fils est représentée par des numéros de calibre qui augmentent à mesure que diminue le diamètre (voir fig. 9). Dans une leçon ultérieure, vous apprendrez comment utiliser un calibre pour mesurer le diamètre d'un fil.

Au cours de votre formation, et lorsque vous travaillerez comme électricien d'entretien, vous entendrez parler *d'intensité admissible*, d'intensité du courant ou d'ampérage. En d'autres mots, l'intensité admissible est la charge de courant maximale qui ne présente pas de danger.

Dans une installation électrique standard de 120/240 V, le calibre des fils varie de 0000, le plus gros, à 14, le plus petit. La plupart des électriciens n'utilisent jamais de fils de calibre inférieure à 12, ce qui permet une plus grande intensité admissible pour des besoins futurs.

Voici quelques calibres de fils types et leur intensité admissible: n° 14, 15 A; n° 12, 20 A; n° 10, 30 A; n°8, 45 A; n° 4, 85 A; n° 1, 130 A; n° 00, 175 A.

10 Puissance en watts

Si on connaît l'intensité admissible d'un circuit électrique, il est facile d'en calculer sa puissance en watts. Cette information sert à connaître la quantité maximale de watts utilisable sans danger à partir d'une dérivation.

$$\text{puissance} = \text{tension} \times \text{intensité}$$

Par exemple, un circuit raccordé du câblage n° 12 peut facilement supporter jusqu'à 20 A. On calcule la puissance d'un circuit, en multipliant les 20 A par la tension du circuit. En supposant que la tension soit de 120 V:

$$\text{puissance} = 120\ \text{V} \times 20\ \text{A} = 2\,400\ \text{W}$$

Si nous connaissons les besoins en puissance du circuit, nous pouvons calculer le diamètre du fil. Calculons d'abord l'intensité admissible avec la formule suivante:

intensité admissible = puissance ÷ tension

L'intensité admissible d'un circuit alimenté sous 120 V et dont la puissance est de 1 800 W, se calcule comme suit:

intensité admissible = 1 800 W ÷ 120 V = 15 A

Un fil de calibre 14 serait suffisant mais il est préférable d'utiliser le calibre 12 en prévision des besoins futurs.

Exercice de contrôle 2

Voici quelque questions qui vous permettront de vérifier vos connaissances sur les câbles et les fils. Si vous avez répondu incorrectement, faites une révision des pages précédentes avant de poursuivre la leçon.

1. Vrai ou faux? Le câble armé peut être utilisé à l'extérieur.

2. Le câble à gaine de plastique de type intérieur s'appelle également _____ .

3. Lorsqu'on utilise un câble non métallique, il faut éviter de le plier _____ .

4. Le flux de courant circulant dans un fil (augmente, diminue) _____ la température de celui-ci.

5. L'intensité admissible d'un fil n° 10 est de _____ A.

   A. 15 *C.* 30
   B. 20 *D.* 45

6. Quelle est la puissance d'un circuit de 10 A alimenté sous une tension de 120 V?

Dans l'espace libre, devant chaque groupe de mots à droite, inscrivez la lettre de la phrase qui l'explique le mieux.

7. *a.* Appellation d'un câble à gaine non métallique.
   b. Terme désignant la capacité de courant.
   c. Autre façon d'indiquer le diamètre d'un fil.
   d. Autre appellation de câble armé.

Vos réponses

1. Vrai Faux
   (Encerclez votre réponse)
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. ___ N° de calibre
   ___ BX
   ___ Intensité admissible
   ___ LOOMEX

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 2

1. Faux — Section 7 (L'armure métallique du câble se corrode à l'extérieur).
2. NMC ou LOOMEX — Section 7, Figure 8
3. Bruquement — Section 8
4. Augmente — Section 9
5. C. 30 — Section 9
6. 1 200 W (120 V × 10 A = 1 200 W) — Section 10
7. *c* N° de calibre — Section 9
   d BX Section 7, Figure 8
   b Intensité admissible — Section 9
   a LOOMEX — Section 7

Boîtes, conduits, connexions et soudures

11 Boîtes de sortie

Les boîtes de sortie servent à fixer les interrupteurs et les prises de courant. On peut également y placer les épissures des fils. Elles peuvent être en aluminium, en acier galvanisé ou en plastique. Certaines sont conçues pour être combinées à des tuyaux ou des conduits; d'autres peuvent être utilisées avec du câble armé (BX) ou LOOMEX (autre appellation du câble sous gaine non métallique) si on fixe ces derniers avec des connecteurs spéciaux à l'intérieur de la boîte.

Les boîtes sont de type simple ou jumelable. La boîte jumelable permet le jumelage de deux ou plusieurs interrupteurs ou prises de courant. Les parois de la plupart des boîtes simples sont amovibles ce qui permet de les transformer en boîtes jumelables. Leur volume est mesuré en pouces cubes (ou centimètres cubes) de capacité. Cette mesure indique le nombre et le diamètre des fils pouvant être utilisés dans chaque boîte.

Certaines boîtes sont conçues pour un montage en saillie (sur un mur ou autre support) alors que d'autres doivent être encastrées dans le mur. Les boîtes peuvent être octogonales ou carrées (voir Fig. 10) ou rectangulaires (voir Fig. 11). Il y a aussi le format pratique qui intègre un adaptateur clouable.

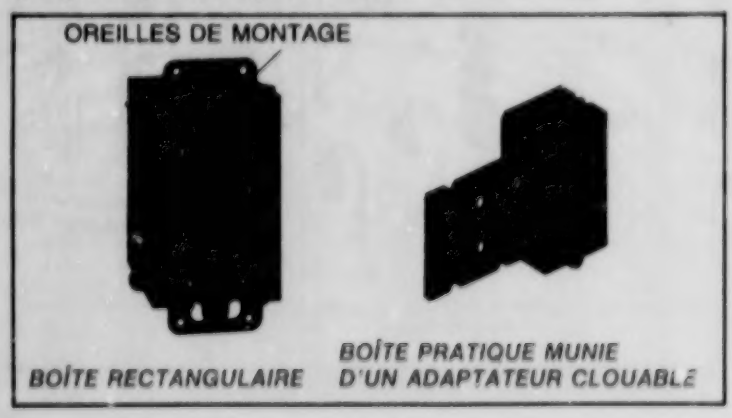


Fig. 11. Lorsque l'emplacement est difficile d'accès, la boîte pratique munie d'un adaptateur clouable facilite le travail de l'électricien.

Fig. 10. Une boîte octogonale de 4 pouces (100 mm) est idéale pour l'installation de plafonniers. Il y a amplement d'espace pour y placer la longueur de fil requis. La boîte carrée de 100 mm est souvent installée dans les murs pour fixer les interrupteurs et les prises de courant.

12 Appareils et prises dans les boîtes

Le Code américain de l'électricité (NEC)* ne permet qu'un nombre limité de conducteurs dans une boîte. En principe, selon la règle, une boîte doit être suffisamment grande pour recevoir tous les conducteurs installés dans celle-ci.

Le tableau suivant donne quelques combinaisons types permises. Prenons par exemple une boîte ronde de 100 mm sur 38 mm (millimètres) ou 4 po sur 1,5 po (pouce). Elle ne peut recevoir que sept fils 14 ou six fils 12 ou 10.

Dimensions de la boîte	Nombre maximum de conducteurs		
	fil 14	fil 12	fil 10
Ronde, 100 × 38 mm (4 × 1 1/2 po)	7	6	6
Octogonale, 100 × 54 mm (4 × 2 1/8 po)	10	9	8
Carrée, 100 × 38 mm (4 × 1 1/2 po)	10	9	8

Un conducteur qui traverse une boîte est compté comme *un seul* fil. Les fils allant aux appareils ne comptent pas. Tous les autres conducteurs sont comptés (voir Fig. 12).

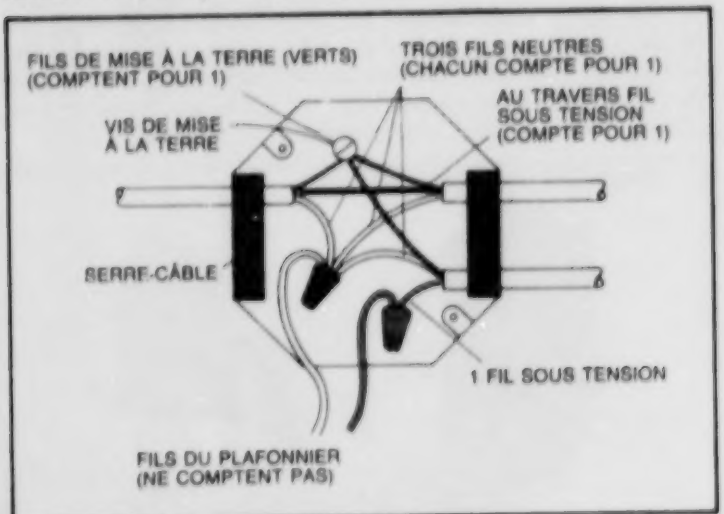


Fig. 12. L'installation est sécuritaire en permanence si l'on compte les conducteurs dans la boîte et que l'on suit les règles de câblage déjà établies. Sur la figure, on compte six fils.

* Au Québec, c'est le *Code de l'électricité du Québec*.

Un prise de courant ou un interrupteur influe sur le nombre de conducteurs. Les deux fils qui vont à l'un ou à l'autre ne comptent que pour *un seul* fil. Tous les connecteurs utilisés pour l'installation des appareils d'éclairage ne comptent que pour *un* fil.

13 Conduits

Dans l'industrie, les conducteurs électriques sont souvent acheminés dans un conduit, c'est-à-dire un type spécial de tuyau métallique. *Ce conduit protège les fils.* Il protège également les travailleurs et les autres membres du personnel contre les décharges électriques ou d'autres blessures corporelles. Les conduits sont aussi utilisés pour le câblage résidentiel. Il existe trois types de conduits d'usage général. Les conduits à paroi mince et rigide sont les plus anciens. Le premier type est aussi connu sous le nom de tube métallique électrique. Le type de conduit le plus récent est le conduit intermédiaire. La figure 13 montre une installation électrique type comportant un conduit dans la structure de bois du bâtiment. La figure 14 représente un conduit relié à une boîte de sortie. Lorsque c'est permis, on utilise un câble armé ou non métallique parce qu'ils se manipulent bien et coûtent moins cher.

Le conduit offre de grands avantages comparativement au câble non métallique. Il s'endommage moins facilement et simplifie les

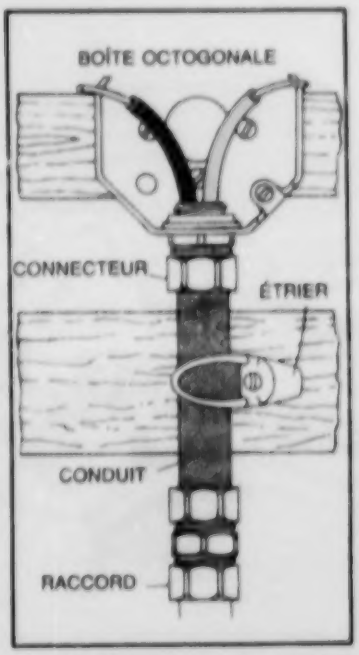


Fig. 14. L'installation d'un conduit ressemble à celle d'une conduite d'eau. De plus, puisque le conduit est en métal, aucun fil de terre n'est requis.

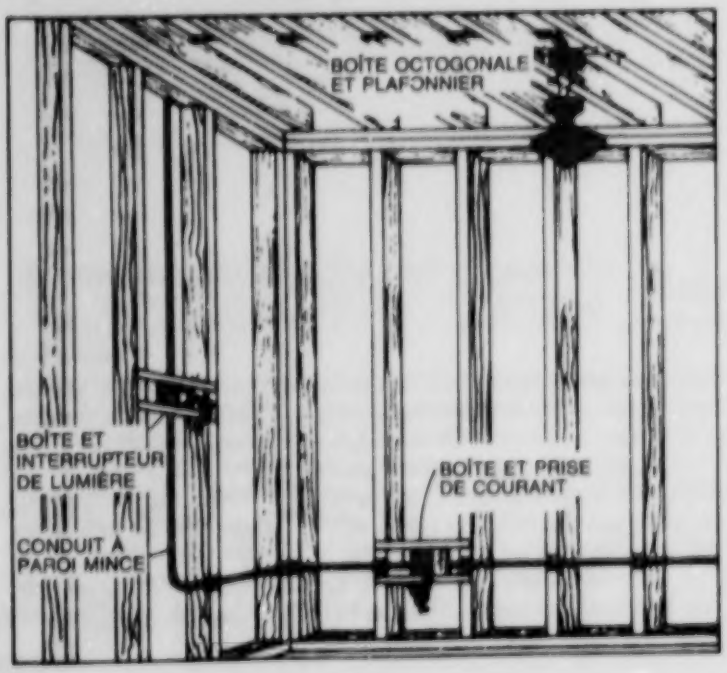


Fig. 13. Le conduit à paroi mince est souvent utilisé à la place du câble armé ou à gaine non métallique. Il s'installe facilement dans les murs ouverts. Le fil est tiré à travers les murs lorsque ceux-ci sont complétés.

nouvelles connexions. Les fils peuvent être tirés et réinstallés sans avoir à faire de trous dans les murs. Comme les murs sont déjà ouverts dans une bâtisse en construction, il est très facile d'installer le conduit en même temps que les boîtes de sortie. Lorsque l'installation est terminée et que les murs sont fermés, on peut passer les fils dans le conduit. Les interrupteurs et les prises de courant sont alors raccordés aux fils.

On utilise un ruban de tirage spécial pour faire passer les fils dans le conduit. Il est très facile d'acheminer 30 m (mètres) ou 100 pi (pieds) de fil. On saupoudre le ruban d'un peu de talc, pour faciliter le passage du fil lorsqu'il y a des coins à contourner.

Le Code américain de l'électricité (NEC) ne permet que quatre coudes de 90° (degrés) dans tout conduit placé entre deux boîtes de sortie. Un outil spécial appelé cintreuse plie les conduits à l'angle voulu. Il existe plusieurs types de cintreuses en fonction des dimensions du conduit. La figure 15 représente un modèle courant: une cintreuse combinée de 12,7 mm à 19 mm (1/2 à 3/4 po).

Comment peut-on déterminer les dimensions du conduit à utiliser? Le nombre de fils pouvant être acheminés dans un conduit dépend de leur diamètre et de leur isolant. Le NEC stipule que 40% seulement du tube doit être rempli.

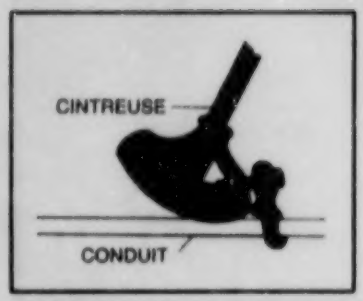


Fig. 15. Le conduit doit être plié avec soin pour éviter toute ondulation ou bosselure. Un outil spécial appelé cintreuse facilite ce travail.

14 Coupage, épissage et raccordement des fils

Les deux principales méthodes utilisées pour épisser ou joindre en permanence des fils est le soudage et l'utilisation de connecteurs vissables comme les serre-fils représentés sur la figure 16.

L'outil principal de l'électricien est un coupe-fils et une pince à dénuder combinés. Il sert à couper le fil et à en retirer l'isolant. On peut également l'utiliser pour affûter l'extrémité de l'isolant des fils de calibre 10 ou supérieur.

Pour souder une épissure, il faut enlever environ 76 mm (3 pouces) d'isolant, croiser les fils à environ 2,5 cm (1 po) de l'isolant, puis bien les torsader à la main.

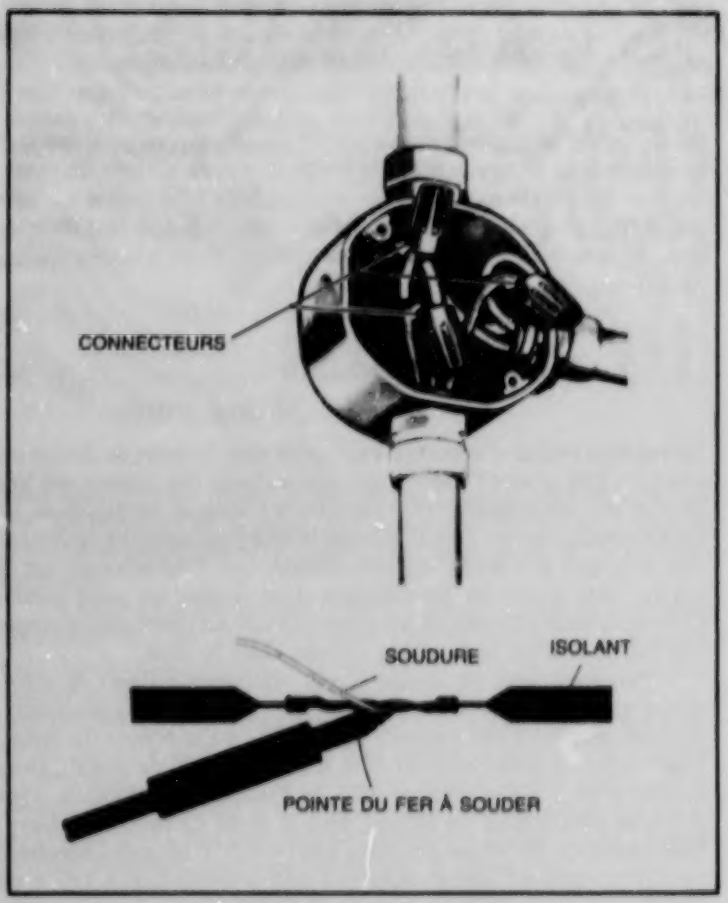


Fig. 16. Il existe deux méthodes de connexion permanentes: sans soudure en joignant les fils avec des connecteurs ou encore par soudage pour les joints électriques et mécaniques.

Lorsque les fils sont plus gros, vous devrez peut-être utiliser une pince. Une fois torsadés, les fils sont chauffés pour y déposer la soudure.

Le connecteur vissable assure également une connexion permanente mais sans soudure. Il s'agit de joindre ensemble les deux extrémités propres d'un fil et de les introduire dans le connecteur que l'on visse en tenant fermement le fil. Comme le connecteur est fileté à l'intérieur, la poussée des doigts fixe les fils dans le filetage comme le ferait un boulon.

Il existe également des connecteurs à sertir pour l'installation de fils sur des bornes à vis. On peut généralement utiliser le coupe-fils pour sertir ces connecteurs aux fils.

15 Bonne technique de soudage

En électricité, le soudage est un travail simple. Il arrive parfois que les électriciens ne prennent pas le temps *et* les précautions nécessaires pour faire un bon travail. Une soudure bien faite tient aussi bien que le fil d'origine et n'offre pas plus de résistance au flux de courant. Si vous suivez les bonnes méthodes, vous n'aurez aucun problème.

16 Types de soudures

La soudure (métal d'apport) est un métal dont le point de fusion est très bas. Elle assure l'assemblage des surfaces des métaux sur lesquelles elle est déposée. Une soudure à l'étain et au plomb se lie facilement au cuivre: c'est d'ailleurs le seul type employé en électricité. Lorsque la soudure devient chaude, elle fond et coule sur le cuivre. Elle durcit en refroidissant pour former un joint solide. Comme la résistance électrique d'une soudure est faible, elle n'empêche pas le courant nominal de circuler dans le joint.

Plusieurs types de soudures sont effectuées à l'aide de différentes quantités (pourcentages) d'étain et de plomb. Ces pourcentages sont généralement indiqués sur la boîte ou la bobine du métal. Une soudure à 60/40 contient 60% d'étain et 40 % de plomb, alors qu'une autre à 50/50 contient 50% de chacun de ces métaux. Plus il y a de plomb dans un alliage, plus le point de fusion est élevé. Une soudure à 50/50 par exemple, fond à 415°F (degrés Farenheit) ou 213°C (degrés Celsius) alors que celle à 60/40 fond à 370°F ou 188°C. En électricité, la soudure à 50/50 est la plus courante.

Auparavant, la soudure n'était disponible qu'en grosses barres solides. Aujourd'hui, elle est vendue en différents formats de forme ronde. Elle peut également être évidée et contenir un flux décapant (agent nettoyeur). Cette *soudure intégrée* est utilisée dans la plupart des travaux de câblage électrique.

17 Flux décapant

Le flux décapant est un produit chimique utilisé pour nettoyer la surface du métal à souder. Il sert également à garder le métal propre et à aider la soudure à bien se répandre sur le métal de façon à obtenir un bon joint. Il existe deux principaux types de flux décapants: à l'acide et à l'arcanson.

Le flux décapant à l'acide est employé par les ferblantiers et ne doit jamais être utilisé en électricité. Lorsqu'on utilise ce type

de flux décapant, il reste toujours un peu de cet acide très corrosif qui éventuellement attaque le fil et détruit le joint.

En électricité, on utilise toujours le flux décapant à l'arcanson. Lorsqu'on utilise une soudure à l'arcanson, le décapant est dans le centre évidé de la soudure, prêt à être utilisé. Vous n'avez pas besoin de décapant séparé.

18 Joint soudé

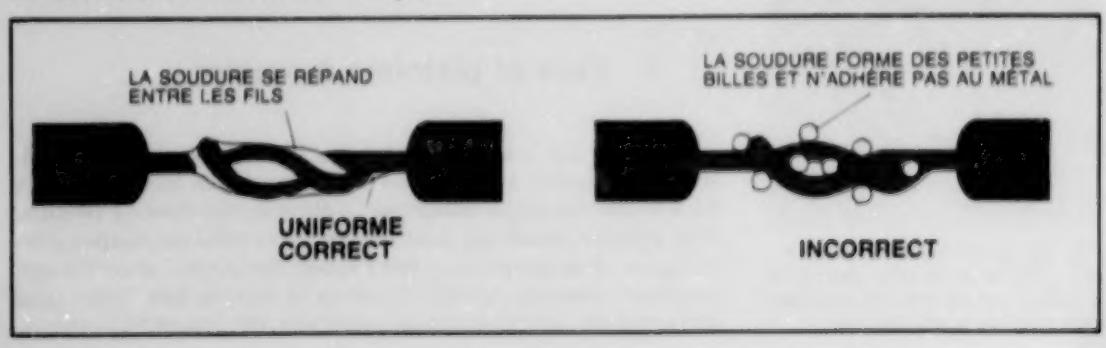
Pour faire un joint soudé, il faut un fer à souder pour chauffer les fils. La partie du fer à souder qui sert à chauffer les fils s'appelle la pointe et est en cuivre. En électricité, on emploie un fer à souder électrique.

Il ne faut pas oublier que le fer et l'acier rouillent ou s'oxydent au contact de l'air. Le cuivre aussi s'oxyde lorsqu'il est exposé à l'air. Les oxydes empêchent la soudure de mouiller la surface pour assurer un joint étanche. Pour réussir un bon joint soudé, la surface des fils à joindre doit être propre. Il faut au besoin bien gratter les fils à l'aide d'un couteau bien aiguisé et utiliser une soudure à l'arcanson. Le décapant à l'arcanson fond en même temps que la soudure et aide à garder la surface du métal propre pendant que celui-ci est chauffé. Le flux décapant sert à protéger le métal chaud, lequel s'oxyde beaucoup plus rapidement que le métal froid.

Après avoir bien nettoyé les fils, torsadez les extrémités tel que le montre la figure 16. Placez ensuite la pointe du fer à souder sur les fils nus. Chauffez les fils. Faire fondre la soudure en l'amenant au contact des fils et NON de la pointe du fer à souder.

Si les fils sont assez chauds, la soudure fond et coule entre les fils. Sur la figure 17, la soudure se répand lentement le long des fils, les mouille et s'insère bien dans le joint.

Figure 17. Tenez la pointe du fer sur un des côtés de l'épissure et lorsque le fil est chaud, déposez le métal sur l'autre côté pour s'assurer que le fil chaud et non le fer fait fondre la soudure.



Si le joint n'est pas assez chaud, la soudure fond en formant des petites billes sur la surface du fil. La soudure n'adhèrera pas au fil. Un fil sale peut également provoquer la formation de ces petites billes.

Pour que le joint chauffe bien, la pointe du fer à souder doit être propre et étamée avec la soudure fondue. Lorsque la pointe du fer à souder chauffe longtemps, elle peut devenir rugueuse et sale. Il faut alors l'adoucir avec une lime, y déposer une mince couche de soudure puis l'essuyer avec un linge. Une pointe propre transmet la chaleur beaucoup *plus rapidement* qu'une pointe sale.

N'oubliez pas: le joint à souder doit être propre et chaud. Exercez-vous à faire des joints soudés à l'aide de bouts de fils. Enlevez l'isolant et essayez de faire un bon joint sans avoir bien décapé le fil au préalable. Vous verrez comment la soudure fera de petites billes et ne se répandra pas entre les fils. De plus, vous pourrez probablement défaire le joint avec facilité.

Grattez ensuite le fil de façon à ce qu'il soit propre et brillant et torsadez solidement les fils. Nettoyez le fer et chauffez le joint jusqu'à ce que les fils soient suffisamment chauds pour faire fondre la soudure. Gardez la pointe du fer à souder sur les fils jusqu'à ce que la soudure commence à fondre. Lorsque la soudure se répand entre les fils, le travail est terminé.

Vous n'avez pas besoin d'une grande quantité de soudure pour faire un bon joint: seule la soudure répandue entre les fils importe. Il est inutile d'accumuler de la soudure à l'extérieur. Après avoir effectué un joint soudé, les fils doivent être maintenus en place sans bouger jusqu'à ce que la soudure ait durci. Une soudure fondue a la même apparence que la surface d'un miroir; lorsqu'elle est bien prise, la surface devient givrée. Évitez de bouger le joint avant que la soudure ne soit prise, car tout mouvement peut fissurer un joint.

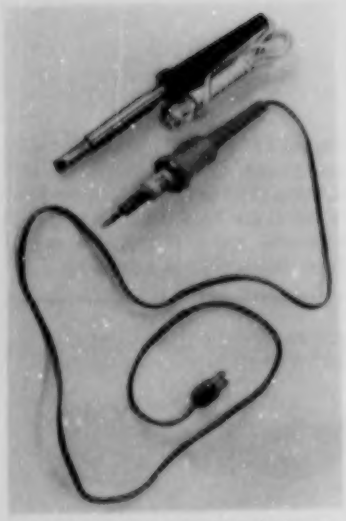


Fig. 18. Le fer à souder du haut est utilisé pour de gros travaux de soudage, tandis que celui du bas sert pour les petits travaux.

19 Fers et pistolets à souder

Il existe des fers à souder électriques. Certains fers spéciaux peuvent être chauffés à l'aide d'un chalumeau à gaz ou à alcool. Un fer à souder électrique comprend un élément chauffant à l'intérieur d'un cylindre métallique dont la pointe en cuivre est remplaçable. La figure 18 représente deux fers à souder électriques. Avec l'usage, les pointes peuvent devenir rugueuses et doivent être limées pour être nettoyées. On les remplace lorsqu'elles deviennent trop courtes.

La figure 19 montre un autre type courant d'outil appelé *le pistolet à souder*. Il a la forme d'un pistolet dont la pointe est composée d'un gros fil de cuivre. L'interrupteur fonctionne comme une gâchette.

Lorsque l'interrupteur est fermé, un courant d'une grande intensité circule dans le fil de la pointe et celle-ci devient extrêmement chaude. La tension est cependant très faible. La puissance des fers à souder varie de 20 W à 100 W et il y en a de 200 W pour les gros travaux.

Chaque type de fer à souder présente des avantages et est conçu pour certaines applications. Certains électriciens préfèrent le fer à souder standard parce qu'il est toujours chaud et prêt à être utilisé. D'autre part, le pistolet à souder ne prend que 7 secondes à chauffer et se refroidit aussi vite. Il peut être idéal pour un travail de soudage occasionnel.

Fig. 19. Un pistolet à souder peut être très pratique pour des travaux de soudage occasionnels. Par contre son utilisation peut s'avérer fatigante à la longue s'il est employé de façon continue parce qu'il faut garder le doigt sur la gâchette pour chauffer la pointe.

Exercice de contrôle 3

Faites une pause de quelques minutes pour revoir quelques point importants. Répondez aux questions suivantes avant de passer l'examen personnel. Si vos réponses ne correspondent pas aux nôtres, révisez les sections précédentes.

1. La plupart des boîtes de sortie simples sont munies de parois amovibles ce qui permet de les transformer en boîtes (jumelables, oxydées).

2. Une certaine boîte de sortie est appelée «pratique» parce qu'elle est munie d'un adaptateur _____ .

3. Quel est le nombre maximal permissible de conducteurs n° 10 dans une boîte octogonale de 4 sur 2,5 po?
   A. 6 *C.* 9
   B. 8 D. 10

4. Vrai ou Faux? Dans la boîte d'un plafonnier, les fils de celui-ci rentrent dans le compte du nombre maximal de fils.

5. Lorsqu'on travaille sur un circuit électrique, le noyau de la soudure à utiliser est composé d'un décapant à (l'acide, à l'arcanson) _____ .

Dans l'espace libre, devant chaque groupe de mots à droite, inscrivez la lettre de la phrase qui l'explique le mieux.

6. *a.* Type de boîte de sortie.
   b. Type de soudure.
   c. Matériau utilisé dans la pointe d'un fer à souder.
   d. Un des matériaux utilisés dans une boîte de sortie.
   e. Tube à paroi mince.
   f. Méthode pour réunir deux fils ensemble.

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____
4. Vrai Faux
   (Encerclez votre réponse)
5. _____
6. ___ 60/40
   ___ Cuivre
   ___ TME (tube métallique électrique)
   ___ Octogonale
   ___ Soudure
   ___ Plastique

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 3

1. Jumelables Section 11
2. Clouable Section 11
3. *B* 8 Sect. 12, tableau
4. Faux Sect. 12, fig. 12
5. À l'arcanson Section 17
6. *b* 60/40 Section 16
   c Cuivre Section 18
   e TME Section 13
   a Octogonale Section 11
   f Soudure Section 14
   d Plastique Section 1

Examen personnel

Lisez attentivement chacun des énoncés suivants et assurez-vous de bien les comprendre. Chaque énoncé est accompagné de quatre mots, phrases ou symboles, dont un seulement est exact. Marquez d'un X la lettre qui correspond à votre réponse.

1. Lequel des symboles suivants représente un électron

   A.
   C.
   B.
   D.

2. Quel autre nom emploie-t-on pour désigner la pression électrique qui pousse les électrons à se déplacer?

   A. charge
   B. puissance
   C. tension
   D. courant

3. Quelle est la tension type dans une boîte de sortie industrielle ordinaire?

   A. 6 V
   B. 12 V
   C. 120 V
   D. 240 V

4. Quelle est l'unité de mesure de l'intensité du courant circulant dans un circuit?

   A. volt
   B. ampère
   C. hertz
   D. watt

5. Quelle serait la quantité d'énergie consommée si vous utilisiez 3 kW pendant 4 heures?

   A. 3 kW•h
   B. 4 kW•h
   C. 7 kW•h
   D. 12 kW•h

6. Dans une installation électrique, quel est le seul appareil qui échappe à votre contrôle?

   A. entrée de service
   B. kilowattheuremètre
   C. diamètre des conduits
   D. calibre des fils

7. Quel est le type de câble idéal pour les endroits mouillés, humides et corrosifs, à l'air ou sous terre?

   A. CNM
   B. NM
   C. BX
   D. CA

8. Un circuit raccordé avec du fil n° 8 peut supporter en toute sécurité une intensité maximale de _____ .

   A. 15 A
   B. 20 A
   C. 30 A
   D. 45 A

9. Quel est le nombre maximal de fils n° 14 que peut contenir une boîte de sortie carrée de 100 mm x 38 mm (4 sur 1 1/2 po)?

   A. sept
   B. huit
   C. neuf
   D. dix

10. Quelle est la FONCTION du décapant dans une soudure à l'arcanson?

   A. Empêcher la pointe du fer à souder de se salir.
   B. Empêcher les fils de s'oxyder quand ils sont chauds.
   C. Agir comme isolant entre la soudure et le joint.
   D. Refroidir la soudure plus rapidement une fois que la connexion a été effectuée.

Vous trouverez les réponses à la page 294.

Outillage et vocabulaire de l'électricité

AF0106

(Lexiques)

Français	Anglais
Ampèremètre	Ammeter
Câble armé	Armored cable
Cadran	Dial
Chaleur	Heat
Charge	Load
Cintreuse	Conduit Bender
CNM	NMC
Connecteur	Connector
Connection (raccordement)	Connection
Coupage	Cutting
Courant admissible	Ampacity
Cuivre	Copper
Dimension	Size
Dispositif	Device
Entretien	Maintenance
Épais	Thick
Épissage (dérivation)	Splice
Étain	Tin
Fer à souder	Soldering Iron
Fil	Wire
Flux décapant	Core Solder
Gaine	Sheath
Instrument de mesure	Meter
Intensité de courant	Amperage
Interrupteur	Switch
Lumière	Light
Marette	Screw-on Connector
Mise en marche	Switch-On
Numéro de calibre	Gage Number
Parcours	Path
Pince à dénuder	Wire-Stripper
Pince coupante	Cutter
Plafonnier	Fixture
Plomb	Lead
Portée ampèremétrique	Ampacity
Pression	Pressure
Prise	Receptacle
Puissance	Power
Puissance	Wattage
Résine	Rosin
Serre-Fil	Wire-Nut
Sertir	Crimp-On
Soudure	Soldering
Taux	Rate
Tension	Voltage
Voltmètre	Voltmeter

Anglais	Français
Ammeter	Ampèremètre
Ampacity	Courant admissible
Ampacity	Portée ampèremétrique
Amperage	Intensité de courant
Armored cable	Câble armé
Conduit bender	Cintreuse
Connection	Connection (raccordement)
Connector	Connecteur
Copper	Cuivre
Core solder	Flux décapant
Crimp-on	Sertir
Cutter	Pince coupante
Cutting	Coupage
Device	Dispositif
Dial	Cadran
Fixture	Plafonnier
Gage number	Numéro de calibre
Heat	Chaleur
Lead	Plomb
Light	Lumière
Load	Charge
Maintenance	Entretien
Meter	Instrument de mesure
NMC	CNM
Path	Parcours
Power	Puissance
Pressure	Pression
Rate	Taux
Receptacle	Prise
Rosin	Résine
Screw-on connector	Marette
Sheath	Gaine
Size	Dimension
Soldering	Soudure
Soldering iron	Fer à souder
Splice	Épissage (dérivation)
Switch	Interrupteur
Switch-on	Mise en marche
Thick	Épais
Tin	Étain
Voltage	Tension
Voltmeter	Voltmètre
Wattage	Puissance
Wire	Fil
Wire-nut	Serre-Fil
Wire-stripper	Pince à dénuder

Magnétisme et électromagnétisme

AF0107

Magnétisme et électromagnétisme

Objectifs d'enseignement

Le magnétisme et l'électricité vont de pair. Les électriciens d'entretien doivent souvent travailler sur de l'équipement nécessitant un certain type d'aimant pour fonctionner. On retrouve notamment des électro-aimants dans les relais, les moteurs, les générateurs, les disjoncteurs, les compteurs, séparateurs magnétiques, etc. Votre travail exige donc que vous ayez quelques connaissances fondamentales sur le magnétisme.

À la fin du cours, vous devriez être en mesure:

- *D'identifier les pôles nord et sud des aimants permanents et des électro-aimants.*
- *De fabriquer un aimant artificiel enroulant une bobine de fil autour d'un noyau.*
- *D'énumérer des matériaux magnétiques et non magnétiques.*
- *De magnétiser un morceau d'acier par induction.*
- *D'expliquer la différence entre un circuit magnétique simple, composé et fermé.*
- *De déterminer la direction des lignes de force magnétique autour d'un conducteur (si la direction du courant est connue).*
- *D'utiliser la règle de la main droite pour situer les pôles d'un solénoïde.*
- *De décrire le fonctionnement des relais électro-magnétiques simples, des trembleurs et des commutateurs à gradins.*
- *D'expliquer en gros l'action génératrice et motrice de l'induction électromagnétique.*

Table des matières

Le magnétisme

Aimants naturels et artificiels

Magnétisme et électricité 209
Historique des aimants naturels 209
Aimants artificiels 210
Pôles magnétiques 210
Pôles nord et sud d'un aimant 210
Attraction et répulsion entre deux pôles 211
Champs magnétiques et lignes de force 211
Direction des lignes de force 212
Substances magnétiques 213
Substances non magnétiques 213
Induction magnétique 214
Circuits magnétiques 215
Exercice de contrôle 1 **216**

Unités de mesure et propriétés magnétiques

Unités magnétiques 217
Force magnétomotrice 218
Propriétés magnétiques 218
Perméabilité 219
Hystérésis 219
Saturation magnétique 219
Rémanence 220
Exercice de contrôle 2 **221**

L'électromagnétisme

Conducteurs et champs magnétiques

Flux de courant conventionnel 222
Effets magnétiques du courant électrique 222
Champ magnétique entourant un conducteur 223
Utilisation d'une boussole pour indiquer la présence et la direction des lignes de force 224
Règle de la main droite pour les lignes de force 224
Forces magnétiques entre fils conducteurs parallèle 225
Règle de la main droite pour le champ magnétique d'un solénoïde 226
Intensité du champ magnétique d'un solénoïde 227
Utilisation de la boussole comme indicateur de polarité 227
Exercice de contrôle 3 229

Dispositifs électromagnétiques

Principe de l'électro-aimant 231
Électro-aimant en fer à cheval 231
Relais électromagnétique 231
Sonnette ou ronfleur 233
Commutateur à gradins électromagnétique 234
Solénoïde et plongeur 235

Induction électromagnétique

Rapport entre le champ magnétique, la tension et le mouvement relatif 236
Action génératrice de l'induction électromagnétique 236
Valeur de la tension induite 237
Action motrice de l'induction électromagnétique 238
Inductance mutuelle et transformateur 239
Exercice de contrôle 4 241

Examen personnel 243

Lexiques 245

Le magnétisme

Aimants naturels et artificiels

1 Magnétisme et électricité

Un aimant est une barre de fer qui peut attirer et retenir d'autres morceaux de fer. En attirant ces morceaux de fer, l'aimant cause un mouvement. Un effet magnétique peut aussi être produit de façon électrique et être utilisé pour engendrer un courant électrique dans un circuit. Lorsque l'effet magnétique est produit de cette façon, l'aimant convertit l'énergie électrique en énergie mécanique.

Les dispositifs dont le fonctionnement dépend des aimants ou de l'effet magnétique comprennent les moteurs et les générateurs électriques, les sonnettes et les relais électriques ainsi que les téléphones. De tels dispositifs sont également utilisés dans les haut-parleurs des radios ou des téléviseurs, les rubans magnétiques des enregistreuses, les sélecteurs de rebuts pour le recyclage des métaux ferreux ainsi que dans de nombreux autres dispositifs moins familiers. Il est donc évident qu'il vous faut avoir une certaine connaissance pratique du magnétisme.

2 Historique des aimants naturels

Dans la Grèce antique, il y avait un minerai dont la propriété inhabituelle était d'attirer vers lui les morceaux de fer placés tout près. Puisqu'il fut découvert dans la région de Magnésie, on lui donna le nom de «magnês» (aimant) et son pouvoir d'attirer les moceaux de fer fut appelé *magnétisme*.

On constata plus tard que lorsqu'une petite barre de ce minerai était suspendue horizontalement à un fil et qu'on la laissait tourner librement, elle indiquait le nord et le sud. Cette propriété du minerai — ou cette aptitude à indiquer le nord et le sud — est en fait le principe de la *boussole magnétique* qui indique les pôles nord et sud de la terre.

Fig. 1. Lorsque l'aimant n'est pas utilisé, l'armature relie les deux extrémités de l'aimant en fer à cheval.

3 Aimants artificiels

Lorsqu'on frotte (dans une direction seulement) une barre d'acier trempé contre un aimant naturel, elle prend les propriétés de ce dernier. La barre devient un *aimant artificiel* comme celui représenté sur la figure 1; lorsque ces aimants conservent longtemps les propriétés de l'aimant naturel, on les appelle des *aimants permanents*.

Les aimants naturels sont très peu utilisés dans l'industrie parce que leur aimantation demeure très faible. Lorsqu'on a besoin d'une aimantation intense, on se sert habituellement d'aimants permanents artificiels ou électro-aimants. Les électro-aimants sont des aimants artificiels constitués d'une bobine de fil conducteur placée autour d'un noyau de fer devenant aimanté sous l'action du courant électrique dans la bobine.

L'aimant en fer à cheval (fig. 1) est muni d'un morceau de fer doux appelé *armature*, qui relie les deux extrémités de l'aimant. Cette armature conserve le magnétisme de l'aimant pour une longue période (les aimants artificiels en forme de barre droite sont appelés *aimants droits* ou *barreaux magnétiques*).

Fig. 2. La limaille de fer est attirée vers les extrémités de l'aimant. La limaille adhère très peu au centre de l'aimant.

4 Pôles magnétiques

Comme le montre la figure 2, lorsqu'un aimant droit est plongé dans de la limaille de fer, celle-ci est attirée vers les extrémités de l'aimant et y adhère en touffes. Comme l'indique la figure 3, on appelle ces deux extrémités *pôles* et la ligne qui traverse le centre, *axe*. La partie de l'aimant qui n'attire pas de limaille de fer est divisée par une ligne imaginaire appelée *ligne neutre*.

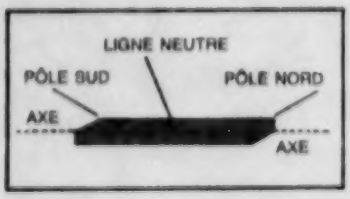


Fig. 3. Lorsqu'un aimant droit est coupé à la ligne neutre ou ailleurs, les deux sections deviennent deux aimants ayant leurs propres pôles nord et sud.

5 Pôles nord et sud d'un aimant

Sur la figure 3, une des extrémités de l'aimant est marquée «pôle sud» et l'autre «pôle nord». Pour bien comprendre ce phénomène, imaginons une aiguille en acier magnétisée reposant sur une pointe

fine (Fig. 4) ou suspendue à un fil de façon à pouvoir tourner librement. Nous venons de fabriquer une *boussole*. S'il n'y a pas de fer, d'acier ou d'autres types d'aimants aux alentours, l'aiguille deviendra éventuellement immobile; l'une des extrémités pointera vers le nord et l'autre vers le sud. Ce sont ces extrémités qu'on appelle le *pôle nord* et le *pôle sud*.

Fig. 4. On peut fabriquer une boussole à partir de n'importe quel morceau d'acier trempé, mince et magnétisé, très bien supporté au centre de façon à pouvoir tourner librement en position horizontale. Vous reconnaissez sûrement la boussole magnétique représentée à gauche de la figure.

6 Attraction et répulsion entre deux pôles

Si l'on approche le pôle nord d'un aimant près du pôle sud d'un autre aimant, ceux-ci seront fortement attirés l'un vers l'autre. Par contre, si l'on rapproche deux pôles sud ou deux pôles nord, c'est exactement l'effet contraire qui se produit: les deux se repoussent mutuellement. Ces phénomènes sont importants et suivent la loi des pôles magnétiques suivante:

Les pôles magnétiques de même nom se repoussent, alors que les pôles magnétiques de nom contraire s'attirent.

7 Champs magnétiques et lignes de force

Les attractions et les répulsions magnétiques donnent l'impression de se produire dans des directions définies le long de lignes imaginaires. Ces lignes sont appelées lignes de force magnétique ou tout simplement *lignes de force* ou encore *flux*. L'espace autour d'un aimant dans lequel circulent les lignes de force s'appelle *champ magnétique*. Tout matériau se trouvant dans cet espace et pouvant être magnétisé est attiré ou repoussé par l'aimant.

Naturellement, nous ne pouvons voir ces lignes de force imaginaires; en revanche, la *trajectoire suivie par les lignes de force* dans un champ magnétique est visible. Si nous saupoudrons une feuille de papier placée dans le champ magnétique d'un aimant avec de la limaille de fer, cette dernière forme des lignes courbes s'étirant du

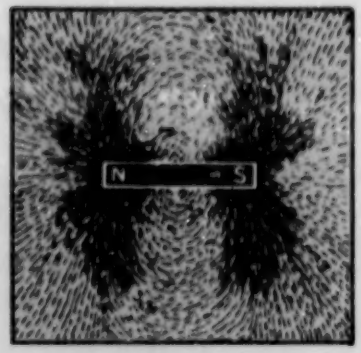


Fig. 5. Les lignes de force et l'intensité des champs magnétiques sont concentrées au pôle nord et au pôle sud.

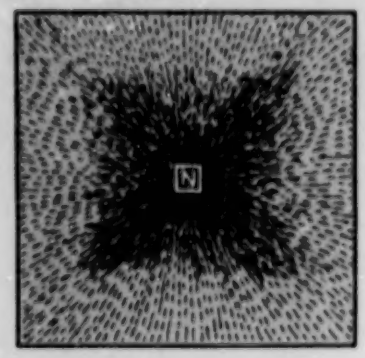


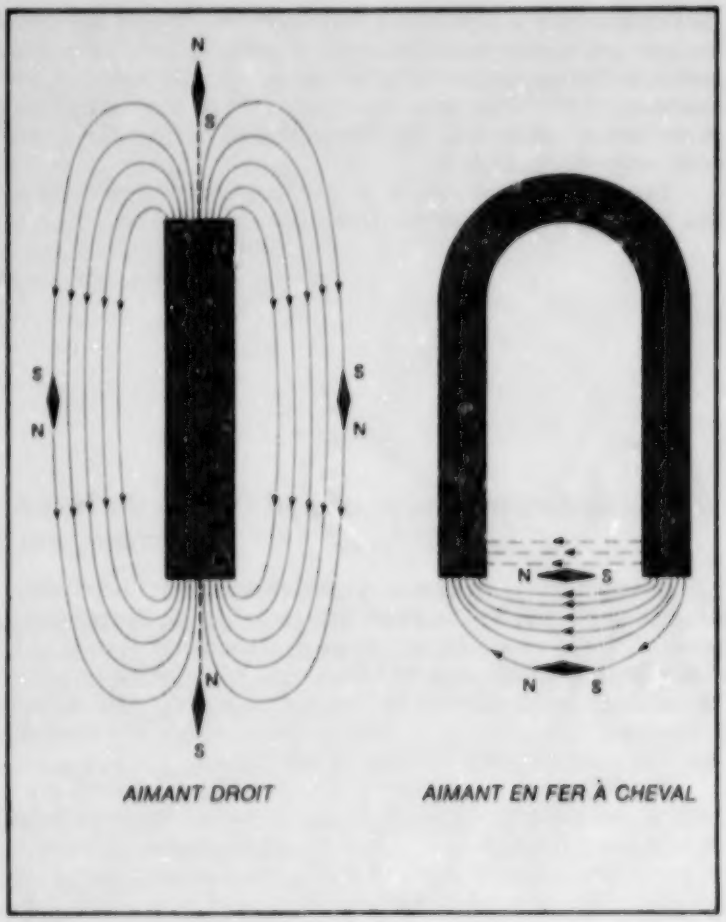
Fig. 6 Ici la limaille de fer est attirée vers le pôle nord de l'aimant. Le même phénomène se produit au pôle sud.

Fig. 7. Peu importe la forme droite ou en fer à cheval de l'aimant, les lignes de force partent du pôle nord et parcourent le circuit magnétique extérieur pour se rendre au pôle sud de l'aimant. Chaque ligne de force forme un circuit magnétique complet.

pôle nord au pôle sud de l'aimant (voir Fig. 5). Une vue de face du champ magnétique à l'extrémité «pôle nord» de l'aimant montre les lignes de force qui s'écartent dans toutes les directions, tel que le montre la limaille de fer sur la figure 6. Une vue de face au pôle sud montrerait le même phénomène.

8 Direction des lignes de force

On suppose que chaque ligne de force quitte le pôle nord d'un aimant et traverse complètement l'espace ou le matériau environnant pour retourner au pôle sud. De ce point, tel que le montre la figure 7, elle traverse de nouveau l'aimant jusqu'au pôle nord. La trajectoire empruntée par les lignes de force est appelée *circuit magnétique*.



Comme le montre la figure 7, la direction des lignes de force dans tout champ magnétique peut être repérée par une petite boussole magnétique. Le pôle nord de la boussole pointe toujours vers les lignes de force. Si l'on déplace la boussole dans le sens de la longueur de l'aimant, elle tourne de manière à se placer dans la direction des lignes de force. Les flèches dans ce schéma représentent les lignes de force. La figure 7 montre aussi la distribution des lignes de force entre les pôles d'un aimant en fer à cheval.

9 Substances magnétiques

Toutes les substances ou corps offrent une résistance plus ou moins grande au passage des lignes de force, comme ils s'opposent au passage de l'électricité. Les substances magnétiques ou ferromagnétiques offrent très peu de résistance au passage des lignes de force.

Toutes les substances magnétiques ne sont pas nécessairement des aimants, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas toujours des pôles magnétiques. Par contre, elles peuvent être attirées par un aimant.

À part le fer et ses alliages, on trouve le nickel, le cobalt et leurs alliages comme substances magnétiques. Toutefois, comparativement au fer et à ses alliages, les propriétés magnétiques de ces métaux sont très réduites.

10 Substances non magnétiques

Aucune substance ne bloque complètement le passage des lignes de force. Certaines, par contre, offrent une plus grande opposition que le fer ou l'acier: il s'agit des substances *non magnétiques*. La plupart des substances *sont non magnétiques*: l'air, le papier, le bois, le verre. L'air, par exemple, offre 2000 fois plus d'opposition que le fer. D'autres corps non magnétiques offrent sensiblement la même opposition.

Certaines lignes de force traversent néanmoins des corps non magnétiques. De plus, le nombre de lignes qui traversent le bois ou le papier (ou autre substance non magnétique) est environ le même que le nombre de lignes qui traversent l'air. Voilà pourquoi, lorsqu'on

place un corps non magnétique, comme du papier, ou du bois, entre un aimant et un morceau de fer doux, le fer est toujours attiré par l'aimant.

11 Induction magnétique

Lorsqu'une substance magnétique comme le fer est placée dans un champ magnétique de façon à être traversé par les lignes de force, elle devient immédiatement magnétique. Tel que le montre la figure 8, les lignes de force semblent se regrouper pour traverser la substance magnétique. La raison en est bien simple: la substance est meilleure conductrice de lignes de force que l'air environnant. La figure 8 représente un petit morceau rectangulaire de fer doux placé dans le champ magnétique d'un aimant droit. Habituellement, lorsque le morceau de fer se trouve dans le champ de l'aimant permanent, il n'est qu'un aimant temporaire. Lorsqu'il est retiré du champ magnétique, son magnétisme disparaît. Lorsqu'il est dans le champ magnétique, le morceau de fer se comporte comme n'importe quel aimant: les lignes magnétiques entrent dans le fer par le pôle sud et en ressortent par le pôle nord. On appelle *induction magnétique* la magnétisation d'un morceau d'une substance magnétique selon cette méthode.

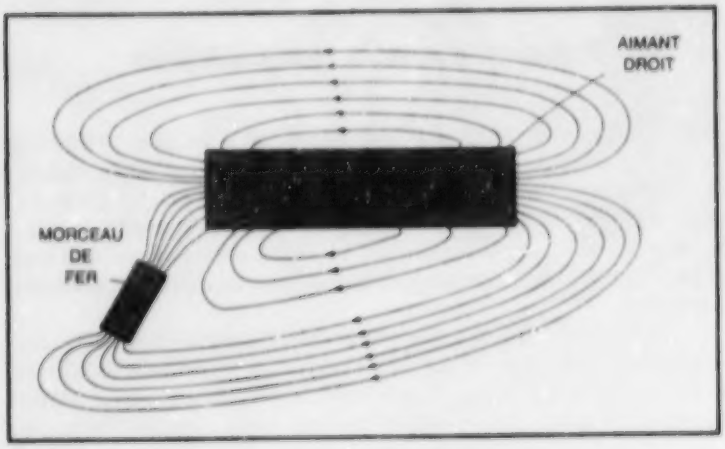


Fig. 8. Remarquez que certaines lignes de force dévient de leur trajectoire pour traverser l'aimant en fer doux. Si on remplaçait celui-ci par un aimant en acier trempé, il conserverait son magnétisme même une fois retiré du champ.

12 Circuits magnétiques

Dans un circuit non magnétique, toutes les lignes de force traversent l'air, le cuivre ou autre substance non magnétique. Lorsqu'un courant circule dans une bobine et qu'il n'y a aucune substance magnétique à l'intérieur ou autour d'elle, les lignes de force engendrées à l'intérieur et autour de la bobine suivent une trajectoire non magnétique. Souvenez-vous que les lignes de force traversent plus facilement un circuit magnétique ou des substances magnétiques.

Il existe trois sortes de circuits magnétiques:

Le circuit magnétique simple représenté sur la figure 9, est composé d'un corps magnétique dont la section transversale est la même sur toute sa longueur.

Le circuit magnétique composé représenté sur la figure 10, est un circuit dans lequel les lignes de force traversent plusieurs sortes de substances magnétiques ou non magnétiques. Remarquez la façon dont les lignes de force traversent le corps de l'aimant, traversent ensuite un entrefer et une barre de fer et reviennent vers l'aimant en traversant de nouveau l'entrefer pour compléter le circuit.

Le circuit magnétique fermé représenté sur la figure 9, est entièrement composé d'une substance magnétique: les lignes de force ne traversent pas d'entrefer. Le circuit de la figure 9 en est un exemple. Un autre exemple serait un circuit en forme d'anneau. Un circuit magnétique fermé peut parfois devenir un circuit composé. Le circuit de la figure 10 deviendrait un circuit composé si les entrefers étaient remplis avec une substance magnétique autre que le fer — il pourrait même s'agir d'un type de fer différent de celui du corps de l'aimant.

Fig. 9. Dans ce circuit magnétique simple, toutes les lignes de force demeurent à l'intérieur du matériau magnétique qui leur fournit une trajectoire continue. Ce type de circuit est souvent utilisé comme écran magnétique pour entourer et protéger des pièces ou des circuits électriques et électroniques — y compris les montres et les cadrans — contre les effets de champs magnétiques parasites.

Fig. 10 Toute substance magnétique ou non magnétique (air, verre, bois, fer ou autre) qui sépare l'aimant d'une autre substance magnétique forme un circuit magnétique composé.

Exercice de contrôle 1

Vous allez maintenant faire une petite pause pour revoir ce que vous avez appris. Répondez aux questions vous-même et si elles ne correspondent pas, révisez les sections citées en référence.

1. Si vous trouviez un minerai ayant une force d'attraction sur des morceaux de métal, vous l'appelleriez un aimant (artificiel, naturel) _____ .
2. Pour aider un aimant en fer à cheval à conserver son magnétisme, vous devez utiliser un(e) _____ entre les deux pôles .
3. Comment appelle-t-on les deux pôles d'un aimant?
4. Identifiez d'abord les deux pôles de l'aimant droit illustré à droite. Tracez maintenant quelques lignes pour montrer la façon dont les lignes de force magnétique relient un pôle à l'autre. Finalement, complétez votre dessin en ajoutant des flèches qui indiqueront la direction des lignes de force.
5. Le fer, le nickel, le cobalt et l'acier sont des exemples de substances _____ (magnétiques, non magnétiques).
6. Vrai ou faux? Les lignes de force magnétique sont arrêtées ou bloquées par le verre, le bois ou le papier.
7. La méthode selon laquelle un morceau d'acier est magnétisé lorsqu'il est placé dans le champ d'un aimant s'appelle _____ magnétique.
8. Un circuit magnétique composé de deux ou plusieurs substances magnétiques s'appelle un circuit (simple, composé) _____.

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____
4.
5. _____
6. Vrai ou faux
(*Encerclez votre choix*)
7. _____
8. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 1

1. naturel — Section 2
2. armature — Section 3
3. Les pôles nord et sud — Section 5
4. — Section 8
5. magnétique — Section 9
6. Faux. (Le verre, le bois et le papier sont des substances non magnétiques, mais aucune substance connue n'arrête complètement le passage des lignes de force magnétique). — Fig. 7.
7. induction — Section 11
8. composé — Section 12

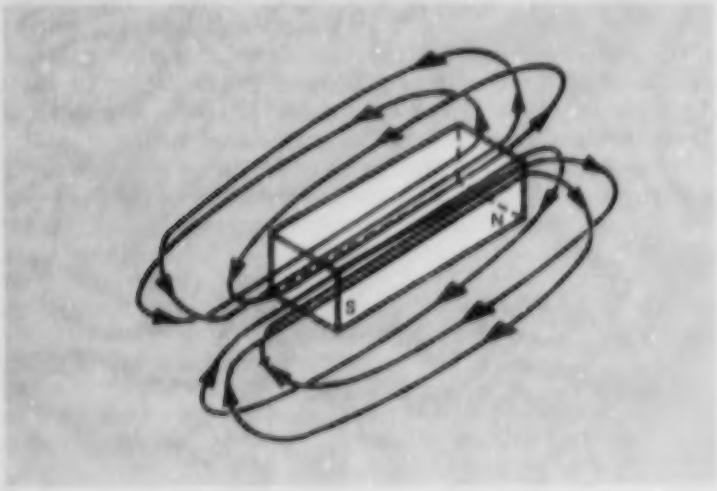
Fig. 1

Fig. 8

Unités de mesure et propriétés magnétiques

13 Unités magnétiques

Le flux magnétique est déterminé par l'ensemble des lignes de force magnétique passant par le circuit magnétique. Dans un aimant droit par exemple, le flux magnétique correspond aux lignes de force qui traversent le métal d'un pôle à l'autre.



Notre étude des circuits magnétiques ne serait pas complète si nous n'abordions pas brièvement les unités de mesure magnétiques. Comme un électricien d'entretien n'a que très rarement l'occasion de mesurer des champs magnétiques, nous nous limiterons à quelques unités magnétiques et leur définition.

L'unité de mesure du flux magnétique est le *maxwell*. Un maxwell est égal à une ligne de force. Le *weber*[1] est une unité plus grande. Un weber est égal à 100 millions (100 000 000) de maxwells ou lignes de force.

1. Le weber est l'unité de mesure du flux magnétique dans le système SI.

La densité du flux est le nombre de lignes de force par unité de surface. Cette unité s'exprime en maxwells par centimètre carré. Un maxwell par centimètre carré est appelé un gauss. Un tesla[2] (unité plus grande) est égal à un weber par mètre carré.

14 Force magnétomotrice

	CIRCUIT ÉLECTRIQUE	CIRCUIT MAGNÉTIQUE
FORCE	f.é.m.	f.m.m.
DÉBIT	courant	flux
OPPOSITION	résistance	réluctance

On peut comparer l'induction magnétique engendrée par un aimant au courant circulant dans un conducteur. Le courant circule parce que la *force électromotrice* (abréviation: f.é.m.) le pousse dans un circuit. De la même façon, les lignes magnétiques sont poussées à travers une trajectoire magnétique par la force de l'aimant. Les lignes magnétiques peuvent également être produites par un fil — ou plusieurs tours de fil — dans lequel circule un courant. C'est ce qu'on appelle la *force magnétomotrice* (abréviation: f.m.m.); elle est généralement mesurée en *ampèretour*. Cette f.m.m. entraîne le flux dans un circuit magnétique fermé composé de substances s'opposant à son passage. Cette opposition, appelée *réluctance*, se compare à la résistance au flux de courant dans un circuit électrique.

Les ampèretours sont des unités très pratiques pour mesurer la f.m.m. engendrée dans les électro-aimants dont nous parlerons plus loin. La valeur de la f.m.m. en ampèretours est égale à l'intensité du courant, en ampères, multipliée par le nombre de tours de la bobine dans laquelle circule le courant. Par exemple, si un courant de 2 A (ampères) circule dans une bobine de 20 tours, on obtient une f.m.m. de 40 ampèretours soit: $20 \times 2 = 40$.

La *force magnétisante* est la f.m.m. produite par unité de longueur d'une substance magnétique.

15 Propriétés magnétiques

Voici quelques-uns des termes usuels relatifs au magnétisme: *perméabilité*, *hystérésis*, *saturation* et *rémanence*. Ces termes se rencontreront de nouveau dans des cours ultérieurs lorsque nous ferons une révision du fonctionnement des appareils électriques tels que les

2. Le tesla est l'unité de mesure de la densité magnétique dans le système SI.

transformateurs, les moteurs et les générateurs. Ces termes qualifient la possibilité qu'a une substance de laisser passer les lignes de force ou de leur résister, ou la facilité avec laquelle une substance peut être magnétisée ou démagnétisée. Les propriétés d'une certaine substance déterminent son utilisation en électricité ou en électronique. Examinons chacune de ces propriétés.

16 Perméabilité

La possibilité qu'a une substance de concentrer les lignes d'un champ magnétique est appelé *perméabilité*. Un bon conducteur électrique a une conductivité élevée; une bonne substance magnétique a une perméabilité élevée. La perméabilité est le contraire de la réluctance (opposition). On dit que la perméabilité du vide est égale à 1 tandis que la perméabilité de la plupart des substances non magnétiques est légèrement supérieure à 1. D'autre part, les matériaux ferromagnétiques (ceux contenant du fer) ont une perméabilité très élevée.

17 Hystérésis

L'hystérésis est le retard entre le moment où un matériau magnétique est soumis à une f.m.m. et l'induction magnétique qui en résulte. La valeur de l'hystérésis inhérente à une substance détermine la rapidité avec laquelle celle-ci se magnétise et se démagnétise. Les substances dont les retards par hystérésis sont assez prolongés servent à la fabrication d'aimants artificiels comme ceux utilisés dans les systèmes des compteurs et des haut-parleurs.

18 Saturation magnétique

La saturation magnétique se traduit comme étant le maximum de lignes de force que peut emmagasiner une substance magnétique. En général, plus la f.m.m. appliquée est grande, plus l'induction magnétique est élevée. *Cependant*, lorsqu'une substance magnétique a absorbé une certaine quantité de lignes de force, elle devient souvent «*saturée*» et une augmentation de la f.m.m. n'augmentera pas le flux sensiblement.

19 Rémanence

La rémanence est la quantité de flux qui demeure dans une substance magnétique lorsque la f.m.m. a été retirée. Toutes les substances magnétiques conservent un certain degré de magnétisme une fois la f.m.m. enlevée. La valeur de la rémanence varie beaucoup d'une substance magnétique à une autre. La rémanence des substances facilement magnétisables — comme le fer doux — est très faible, tandis que celle de l'alliage alnico à partir duquel on fabrique des aimants artificiels de grande puissance est très élevée.

La *force coercitive* est la force magnétique requise pour éliminer la rémanence ou démagnétiser une substance magnétique.

Exercice de contrôle 2

À l'aide de ce questionnaire, faites une révision rapide de vos connaissances sur les propriétés et les unités magnétiques. Comparez vos réponses aux nôtres et, si nécessaire, révisez les sections citées en référence.

Vos réponses

1. Lequel des mots suivants décrit la quantité de magnétisme passant d'un pôle à l'autre dans un aimant? — 1. _____

   A. axe magnétique
   B. flux magnétique
   C. entrefer magnétique
   D. f.é.m. magnétique

2. Le courant circule dans un *circuit électrique* parce qu'une force électromotrice le pousse dans celui-ci. Dans un *circuit magnétique*, la force _____ pousse le flux magnétique dans le circuit. — 2. _____

3. On vous demande de choisir une substance magnétique. Cette substance doit donc avoir une grande (perméabilité, rémanence) _____ . — 3. _____

4. Vous êtes en train de magnétiser une substance magnétique. Vous constatez que même si vous augmentez la f.m.m., il n'augmente pas sensiblement le flux. Vous en déduisez donc que la substance est _____ . — 4. _____

   A. démagnétisée
   B. opposée
   C. repoussée
   D. saturée

Dans l'espace réservé en face de chaque groupe de mots de la colonne de droite, inscrivez la lettre correspondant à la phrase ci-dessous qui l'explique le mieux.

5. *a.* unité de mesure de la densité de flux.
   b. unité de mesure du flux magnétique.
   c. unité de mesure de la f.m.m.
   d. nécessaire pour démagnétiser une substance magnétique.
   e. retard causé par une substance qu'on magnétise.
   f. semblable à la résistance dans un circuit électrique.

5. ___ Ampèretour
   ___ Force coercitive
   ___ Maxwell
   ___ Réluctance
   ___ Tesla
   ___ Hystérésis

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 2

1. *B.* flux — Section 13
2. magnétomotrice — Section 14
3. perméabilité — Section 16
   D. saturée — Section 8

5. *c* Ampèretour — Section 14
   d Force coercitive — Section 19
   b Maxwell — Section 13
   f Réluctance — Section 14
   a Tesla — Section 13
   e Hystérésis — Section 17

L'électro-magnétisme

Conducteurs et champs magnétiques

20 Flux de courant conventionnel

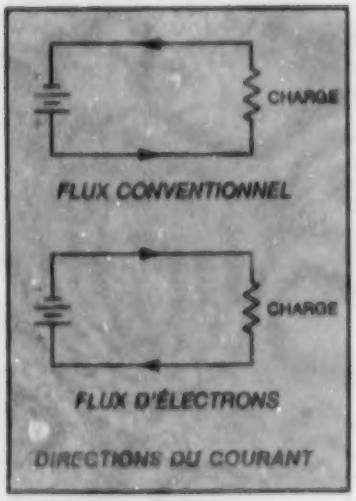


Fig. 11. La théorie conventionnelle du flux de courant est celle que les hommes de science ont élaborée en premier. On l'utilise d'ailleurs encore pour expliquer l'électromagnétisme, les moteurs et les générateurs.

On a déjà crû qu'une charge d'électricité *positive* circulait de la borne positive d'une source de tension et traversait le circuit extérieur pour atteindre la borne négative. C'est ce qu'on a appelé la *théorie du courant conventionnel*. Plus tard, les hommes de science décidèrent que le flux d'électricité était en réalité le mouvement de charges *négatives* ou électrons. Ils découvrirent également que les électrons se déplaçaient de la borne négative de la source et traversaient le circuit extérieur pour se diriger vers la borne positive de la source. Cette deuxième théorie est celle du *flux d'électrons*. Les circuits de la figure 11 correspondent à ces deux théories.

Depuis son élaboration, la théorie du flux d'électrons a été grandement utilisée pour expliquer les principes et le fonctionnement des installations et des circuits électriques. En réalité, dans la plupart des cas, il importe peu de suivre l'une ou l'autre de ces théories. Il est cependant un peu plus facile de comprendre l'électromagnétisme, les moteurs et les générateurs avec la théorie conventionnelle. Donc, dans ce module et ceux traitant des moteurs et des générateurs, la direction du courant est déterminée selon la théorie CONVENTIONNELLE soit, de la borne positive (+) à la borne négative (−).

21 Effets magnétiques du courant électrique

L'électromagnétisme est l'effet magnétique engendré par un courant électrique circulant dans un conducteur. Tout conducteur traversé par un courant électrique est entouré d'un champ magnétique.

Ce champ magnétique est plus dense dans l'espace adjacent au conducteur. La densité du champ diminue à mesure qu'augmente la distance à partir du conducteur.

Supposons qu'un conducteur sous tension traverse le centre d'un morceau de carton carré, tel que le montre la figure 12. Si nous saupoudrons ce carton avec de la limaille de fer, cette dernière forme des cercles ou des spirales autour du conducteur. Nous pouvons donc en déduire que le champ entourant un conducteur sous tension consiste en spirales magnétiques. Ces spirales entourent complètement le conducteur placé au centre de celles-ci.

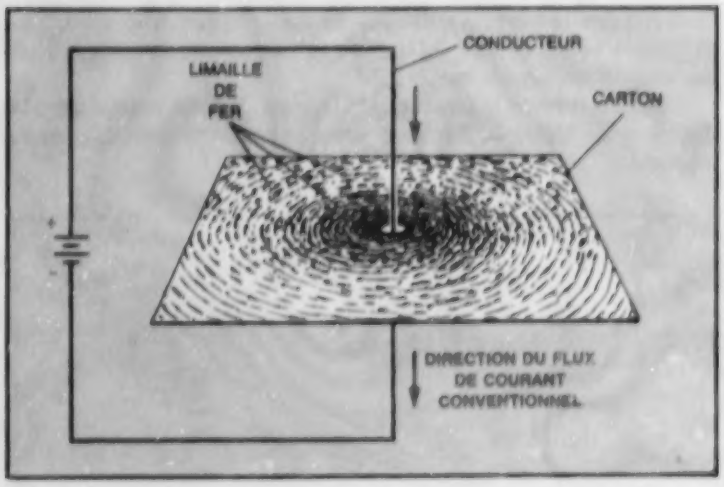


Fig. 12. Cette expérience montre la façon dont le champ magnétique encercle un conducteur sous tension. Si vous faites cette expérience, assurez-vous d'utiliser un long conducteur ainsi qu'une résistance dans le circuit pour limiter le courant. Sinon l'accumulateur s'épuisera rapidement en raison du court-circuit.

22 Champ magnétique entourant un conducteur

La trajectoire de la limaille de fer représentée sur la figure 12 est encore plus facile à voir sur la figure 13. Si l'on faisait glisser le carton d'une extrémité du conducteur à l'autre, les cercles représenteraient toujours le champ magnétique du conducteur.

Lorsque le courant circule dans le conducteur dans la direction indiquée par les flèches pleines, la direction des lignes de force entourant le conducteur est dans le sens des aiguilles d'une montre, tel qu'indiqué par les pointes des flèches sur les cercles en pointillé. N'oubliez pas: toutes les références relatives à la direction du courant sont faites selon la théorie conventionnelle (positif à négatif).

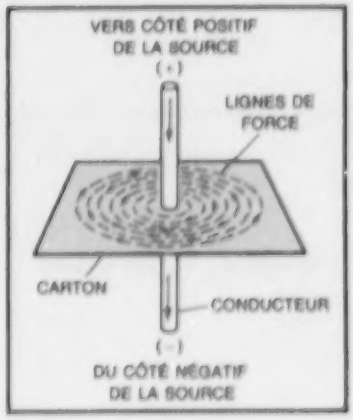


Fig. 13. Les lignes en pointillé représentent le champ magnétique qui détermine la trajectoire de la limaille de fer de la figure 12. Si vous vous placiez au-dessus du carton, les lignes de force se déplaceraient autour du conducteur dans le sens des aiguilles d'une montre.

23 Utilisation d'une boussole pour indiquer la présence et la direction des lignes de force

Sur la figure 14, un conducteur est traversé par un courant qui s'éloigne de l'observateur. Il y a une boussole placée au-dessus du conducteur et une autre en-dessous. La direction des lignes de force est indiquée par le cercle en pointillé et les pointes de flèches. C'est également la direction de l'aiguille des boussoles. Remarquez maintenant sur la figure 14, que si vous vous placez le long du conducteur de façon que le courant *s'éloigne* de vous, la direction des lignes de force est *dans le sens des aiguilles d'une montre* et à angle droit par rapport au conducteur.

Si l'on inverse la direction du courant dans un conducteur, la direction des lignes de force entourant le conducteur est également inversée.

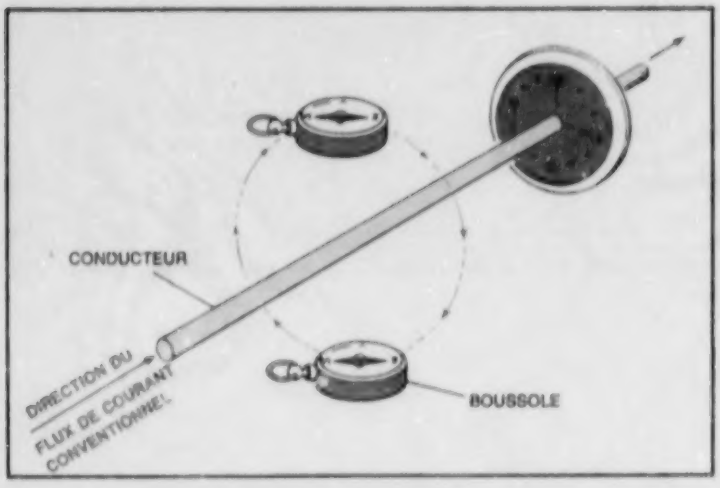


Fig. 14. Remarquez que si vous regardez dans la direction du courant, les lignes de force circulent autour du conducteur dans le sens des aiguilles d'une montre.

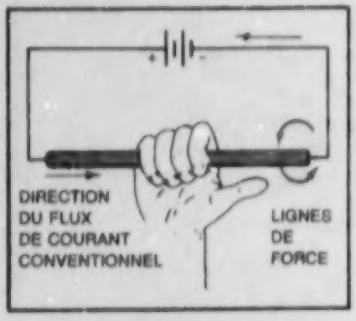


Fig. 15. Normalement, vous ne pouvez pas saisir le conducteur avec la main droite tel que représenté ici. Imaginez seulement que vous le faites. Remarquez la direction dans laquelle vos doigts sont pointés: les lignes de force pointeraient dans la même direction.

24 Règle de la main droite pour les lignes de force

La figure 15 indique la *règle de la main droite* pour la direction du champ magnétique dans l'espace entourant un conducteur ou un fil sous tension.

Règle. Si vous saisissez (en théorie seulement) avec la main droite, le fil sous tension de façon que votre pouce soit pointé dans la

direction du flux de courant conventionnel, vos doigts seraient pointés dans la direction des lignes de force ou du champ magnétique entourant le fil.

25 Forces magnétiques entre fils conducteurs parallèles

Lorsque le courant circule dans des fils parallèles, le flux magnétique engendré par chacun d'eux exerce une force sur l'autre fil. Si le courant suit la *même* direction dans chaque fil, ils sont attirés l'un vers l'autre. Comme le montre la figure 16 (a), cette attraction est due au fait que les lignes du champ magnétique entre les fils sont dans le sens contraire. Ce phénomène d'attraction est le même que celui qui existe entre les pôles opposés (nord et sud) des aimants permanents.

Si par contre, deux fils parallèles transportent un courant dans des directions opposées comme en (b), les fils ont tendance à se repousser. Ce phénomène est le même que la répulsion de deux pôles de même nom (deux sud ou deux nord) d'aimants permanents.

La présence de ces forces d'attraction et de répulsion est souvent la cause de problèmes dans la machinerie électrique. En effet, cette situation occasionne de grandes contraintes lorsqu'il y a des courants élevés. Dans ce cas, les conducteurs doivent être fixés et maintenus en place de façon sécuritaire. Dans le cas des générateurs et des transformateurs de grandes dimensions, les courts-circuits ou les surintensités provoqués par la foudre peuvent être la cause de flux de courant anormalement élevés. Les forces qui résultent de ces phénomènes peuvent briser les conducteurs ou écraser l'isolant.

À partir de ces observations, nous pouvons formuler les règles suivantes:

Règle 1: Si deux ou plusieurs fils conducteurs parallèles transportent le courant dans la même direction, le champ magnétique provoque l'attraction des fils l'un vers l'autre.

Règle 2: Si des fils conducteurs parallèles transportent le courant dans des directions opposées, le champ magnétique provoque la répulsion mutuelle.

a) *SI LES FLUX DE COURANT SONT DANS LA MÊME DIRECTION, LES FILS S'ATTIRENT.*

b) *SI LES FLUX DE COURANT SONT DANS DES DIRECTIONS OPPOSÉES, LES FILS SE REPOUSSENT.*

Fig. 16. Le courant circulant dans la même direction dans des fils placés côte à côte crée un champ magnétique plus fort parce que les champs circulaires plus petits autour de chaque fil s'unissent les uns aux autres pour produire un champ circulaire plus grand.

26 Règle de la main droite pour le champ magnétique d'un solénoïde

La figure 17 montre ce qui se produit lorsqu'on recourbe un conducteur linéaire en forme de boucle. La direction du *courant conventionnel* est indiquée par les grosses flèches. La règle de la main droite pour les lignes de force (flèches circulaires) autour du conducteur s'applique toujours. Si nous plaçons un petit morceau de matériau magnétique dans la boucle, il aura tendance à se placer au centre par rapport aux lignes de force — c'est-à-dire son pôle nord vers le bas.

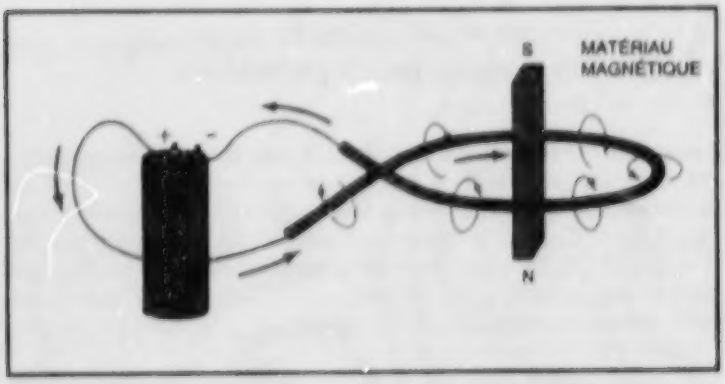


Fig. 17. Si vous tentez cette expérience, utilisez un long fil et faites plusieurs enroulements pour ne pas court-circuiter l'accumulateur.

Comme on le voit sur la figure 18, une bobine de fil conducteur comportant plus d'un enroulement est appelée *solénoïde*. Les lignes de force sont concentrées autour de chaque spire du solénoïde et elles circulent toutes dans *la même direction*, au travers du solénoïde. Les lignes de force à l'extérieur du solénoïde sont moins concentrées mais suivent toutes des trajectoires semblables: elles partent du pôle nord, font le tour du solénoïde et entrent de nouveau par l'autre extrémité du solénoïde — c'est-à-dire le pôle sud.

Le champ magnétique au centre du solénoïde est plus concentré donc plus intense que les champs au-dessus ou en-dessous de celui-ci. À cause de ce renforcement des lignes de force au centre du solénoïde, celui-ci réagit comme un aimant droit permanent avec des pôles nord et sud aux extrémités opposées.

La règle de la main droite pour déterminer la polarité magnétique d'un solénoïde, lorsque la direction du courant qui le traverse est connue, se formule comme suit:

Règle. Lorsqu'on regarde une des extrémités du solénoïde et que le courant circulant dans les enroulements successifs dans le sens des aiguilles d'une montre, comme représenté en (a), il s'agit du pôle sud.

Si le flux de courant circule dans le sens contraire des aiguilles d'une montre comme représenté en (b), il s'agit du pôle nord.

La polarité d'un solénoïde peut être inversée en inversant la direction du courant dans le conducteur.

Fig. 18. En suivant la direction du flux de courant, vous constaterez qu'il circule dans chaque enroulement dans la *même* direction. Comme le montre la figure 16, les champs s'unissent pour former un champ plus fort. Le champ magnétique autour d'un solénoïde ressemble à celui entourant un aimant droit. Les lignes de force partent du pôle nord, font un tour et reviennent au pôle sud.

27 Intensité du champ magnétique d'un solénoïde

L'intensité du champ magnétique d'un solénoïde dépend de trois facteurs principaux:

1. *Le nombre d'enroulements du solénoïde.*
2. *L'intensité du courant circulant dans le solénoïde.*
3. *Le matériau constituant le noyau du solénoïde.*

Plus il y a d'enroulements, plus grande est l'intensité du champ magnétique pour un courant et un matériau du noyau donnés.

L'intensité du champ magnétique est proportionnelle *à l'intensité* du courant.

Un noyau magnétique augmente beaucoup plus l'intensité du champ magnétique d'un solénoïde qu'un noyau non magnétique.

28 Utilisation de la boussole comme indicateur de polarité

On peut facilement déterminer la polarité d'un aimant à l'aide d'une boussole. L'aiguille d'une boussole est un aimant permanent dont les pôles nord et sud sont clairement indiqués. On place la boussole près du pôle de l'aimant permanent ou de l'électro-aimant dont la polarité est à déterminer. Si le pôle nord de *l'aiguille* de la bous-

sole est attiré par le pôle le plus rapproché de l'aimant, il s'agit du pôle sud. Par contre, si le pôle sud de *l'aiguille* est attiré par le pôle le plus rapproché de l'aimant, il s'agit du pôle nord. Cet exemple illustre bien la règle de l'attraction et de la répulsion magnétique qui s'énonce comme suit: **les pôles magnétiques de même nom se repoussent tandis que, les pôles magnétiques de nom contraire s'attirent.**

L'attraction du pôle nord de l'aiguille d'une boussole vers le pôle sud d'un aimant est donc naturelle: les pôles de nom contraire s'attirent. Mais alors, pourquoi le pôle *nord* de l'aiguille d'une boussole est-il attiré vers le pôle *nord* de la terre?

Le comportement de la boussole s'explique facilement. La terre agit comme un énorme aimant. Elle a deux pôles magnétiques légèrement décalés par rapport aux pôles géographiques, comme le montre la figure 19. Le pôle magnétique le plus près du pôle nord géographique de la terre agit comme un pôle sud, et le pôle magnétique le plus près du pôle sud géographique de la terre agit comme un pôle nord. C'est la raison pour laquelle le pôle nord de l'aiguille de la boussole est attiré vers le pôle nord géographique. Bref, les pôles de la terre sont appelés nord et sud selon leur situation géographique et non leur effet magnétique.

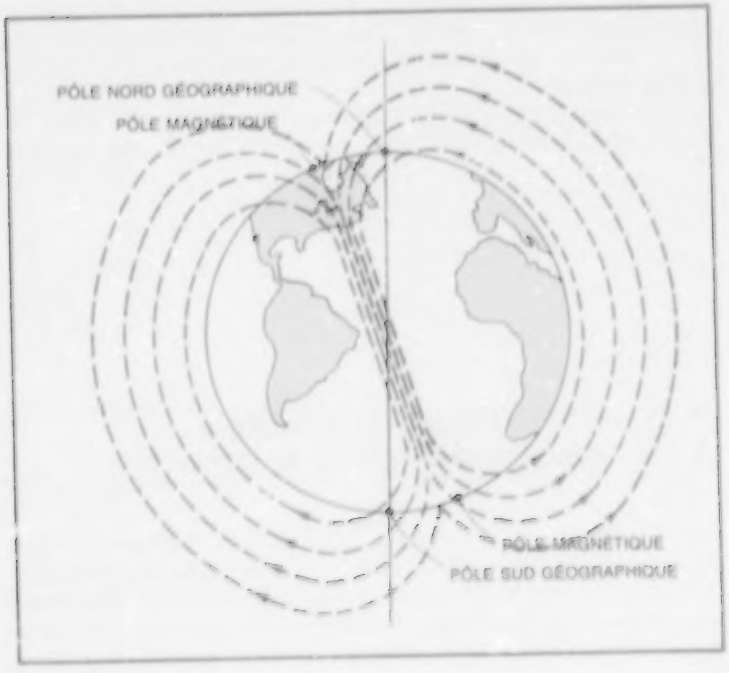


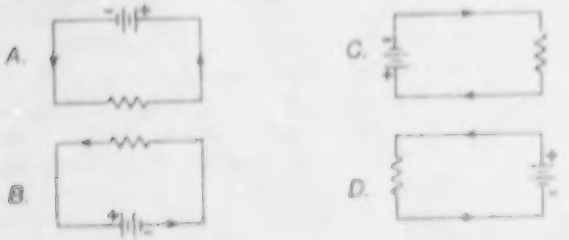
Fig. 19. La terre a deux pôles magnétiques légèrement décalés par rapport aux pôles géographiques. Il existe encore un grand nombre de facteurs inconnus des hommes de science sur l'effet magnétique de la terre.

Exercice de contrôle 3

Voici quelques questions qui vous permettront de vérifier vos connaissances sur les conducteurs et les champs magnétiques. Si vos réponses ne correspondent pas aux nôtres, faites une révision des pages précédentes avant de continuer le cours.

Vos réponses

1. Lequel des schémas suivants représente un flux de courant conventionnel?



1. _____

2. L'électromagnétisme est basé sur le principe selon lequel chaque conducteur sous tension est entouré d'un _____.

2. _____

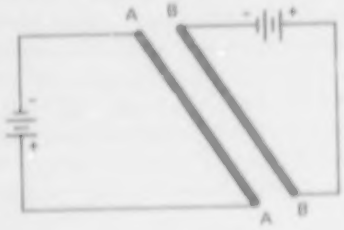
3. Vous êtes placé près d'un conducteur dans lequel le flux de courant s'éloigne de vous. Quelle serait la direction des lignes de force autour de ce conducteur? (Dans le sens des aiguilles d'une montre, dans le sens contraire des aiguilles d'une montre) _____.

3. _____

4. Nommez une méthode simple pour trouver la direction des lignes de force lorsque vous connaissez la direction du courant _____.

4. _____

5. Si les deux fils A-A et B-B représentés ci-dessous sont placés côte à côte, ils (s'attirent, se repoussent) _____.



5. _____

6. Comment appelle-t-on un conducteur composé de plusieurs enroulements?

6. _____

7. Quels sont les trois principaux facteurs qui influent sur l'intensité du champ magnétique d'un solénoïde?

7. _____

8. Le pôle sud de l'aiguille d'une boussole est attiré vers le pôle (nord, sud) d'un électro-aimant.

8. _____

Les réponses sont données à la page suivante.

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 3

1. *D*	Section 20, Fig. 11	6. Solénoïde	Section 26
2. Champ magnétique	Section 21	7. Le nombre d'enroulements L'intensité du courant Le matériau du noyau	Section 27
3. Dans le sens des aiguilles d'une montre	Section 23, Fig. 14	8. Nord	Section 28
4. Règle de la main droite	Section 24, Fig. 15		
5. S'attirent	Section 25, Fig. 16, Règle 1		

Dispositifs électromagnétiques

29 Principe de l'électro-aimant

On obtient un électro-aimant lorsqu'on introduit une substance magnétique dans le circuit magnétique d'un solénoïde (voir Fig. 20). Le corps magnétique (habituellement fer ou acier doux) autour duquel on enroule le solénoïde, s'appelle le *noyau*. Le solénoïde lui-même s'appelle couramment bobine d'excitation. Pour éviter les courts-circuits, le bobinage est fait avec du fil isolé.

Le noyau de fer augmente la force d'attraction du solénoïde à cause de la densité du flux magnétique aux extrémités du noyau. Cette densité est beaucoup plus grande que celle d'un noyau à air par exemple. Par conséquent, la force d'attraction d'un solénoïde à un noyau de fer est plus intense.

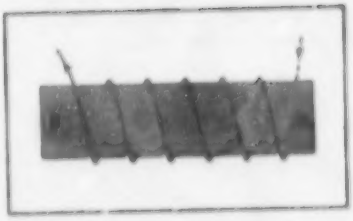


Fig. 20. Si on utilise du fer doux comme noyau magnétique à l'intérieur d'un bobinage, celui-ci devient un aimant seulement s'il est traversé par un courant.

30 Électro-aimant en fer à cheval

La figure 21 représente un électro-aimant en fer à cheval, ou en U. Il s'agit d'une barre de fer recourbée en forme de fer à cheval. Il y a deux bobines d'excitation sur les extrémités droites.

Regardez maintenant la vue en bout de l'électro-aimant. Remarquez que le courant circule dans une certaine direction, autour d'une des extrémités (ou noyau) de l'électro-aimant, alors qu'il circule dans la direction opposée autour de l'autre extrémité. Si le courant circulait dans la même direction autour des deux noyaux, les lignes de force produites dans les deux noyaux s'*opposeraient*. L'attraction magnétique de cet aimant serait alors très faible.

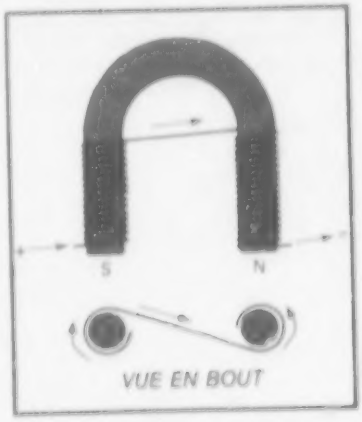


Fig. 21. Si le fil du côté de cet aimant en U était enroulé dans le sens contraire, il y aurait deux pôles sud qui s'annuleraient.

31 Relais électromagnétique

Un **relais électromagnétique** est un dispositif qui commande un ou plusieurs interrupteurs lorsque le courant traverse son bobinage. On utilise un relais pour ouvrir ou fermer un autre circuit élec-

triquement distinct du circuit de commande. La figure 22 montre la construction d'un relais simple.

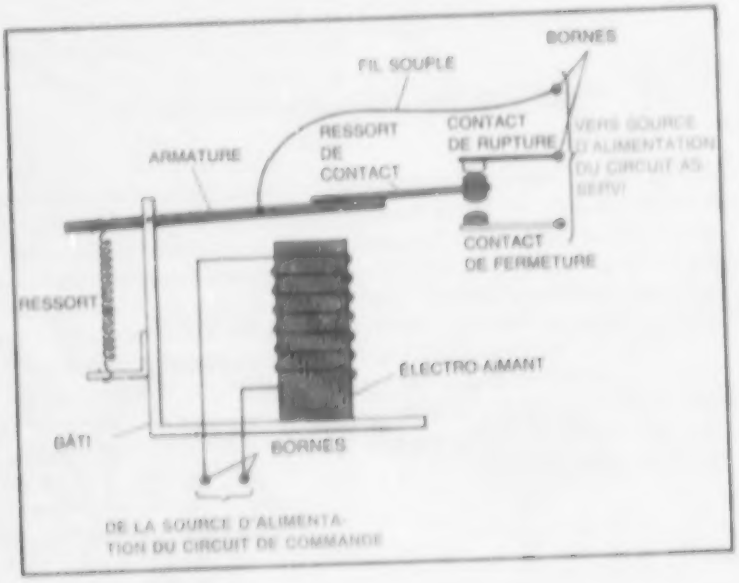


Fig. 22. L'usage des relais électromagnétiques est très répandu dans l'industrie. Ils agissent comme des interrupteurs pour *ouvrir* ou *fermer* des circuits dont la source de tension est différente de celle du relais.

Le relais est composé d'un électro-aimant et d'une armature. L'armature est généralement éloignée de l'électro-aimant et repose sur le contact de rupture fixe grâce à un ressort. Lorsque l'électro-aimant est mis sous tension, l'armature est attirée vers celui-ci et s'appuie sur le contact de fermeture. Le ressort de contact fixé à l'armature devient le *contact mobile*. Il permet la connexion entre les deux contacts fixes. La connexion à queue de cochon qui relie l'armature à une des bornes fait partie du système de commutation. L'électro-aimant se trouve dans le circuit de *commande* alors que le système de commutation (les contacts) est dans le circuit *asservi*.

Lorsqu'une tension est appliquée au circuit de commande, l'électro-aimant attire l'armature. Le contact à ressort descend en s'éloignant du contact de rupture et il y touche le contact de fermeture. Le circuit asservi est maintenant fermé ou complété, par l'intermédiaire de la connexion à queue de cochon et du contact de fermeture. Les bornes du circuit de *commande* sont celles du bobinage de l'électro-aimant. Les bornes du circuit *asservi* sont celles raccordées à la queue de cochon et aux contacts de fermeture et de rupture.

32 Sonnette ou ronfleur

La sonnette ou ronfleur est l'un des dispositifs électriques les plus simples fonctionnant par électromagnétisme. La figure 23 représente le circuit d'une sonnette type. Elle est composée d'un électro-aimant en U, d'une armature et d'un ressort fixé à l'armature. Normalement, le ressort repose sur une vis de contact fixe. Le circuit complet comprend le timbre, un accumulateur, un bouton-poussoir et le câblage. La partie inférieure de l'armature pivote alors que la partie supérieure est munie d'un petit marteau ou battant.

Lorsqu'on appuie sur le bouton-poussoir, le courant circule de l'accumulateur à l'électro-aimant, le traverse ainsi que le ressort, le contact et le bouton-poussoir pour finalement revenir à l'accumulateur. L'armature est attirée vers les pôles de l'électro-aimant. Le ressort d'armature se déplace avec elle et par le fait même, quitte la vis de contact fixe contre laquelle il était appuyé.

Dès que le ressort s'éloigne de la vis de contact, le circuit est ouvert et l'électro-aimant n'est plus excité. L'armature revient pour fermer le contact et compléter le circuit de nouveau. L'aimant est alors remis sous tension, l'armature est attirée, le contact rompu, l'aimant mis hors tension, l'armature relâchée, le circuit complété par le contact fixe et ainsi de suite.

Ce mouvement de fermeture et de rupture des contacts est répété rapidement et sans arrêt, tant que le bouton-poussoir est maintenu en position fermée. Le mouvement de va-et-vient du marteau de l'induit fait vibrer le timbre.

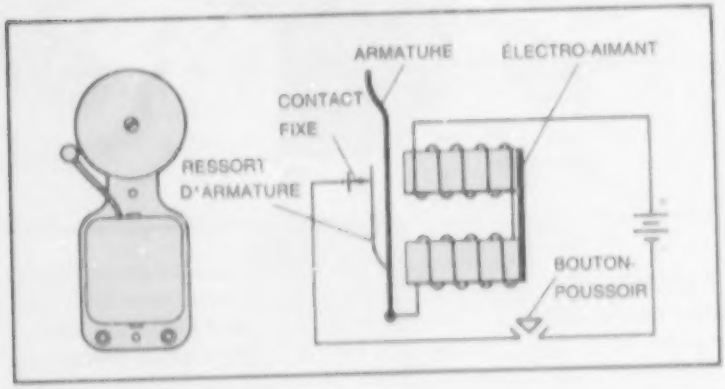


Fig. 23. À partir de ce dessin (et de la description donnée dans le cours), vous devriez être en mesure de repérer la cause de la panne d'une sonnette.

33 Commutateur à gradins électromagnétique

Le commutateur à gradins[1] est un type de relais qui peut, étape par étape, fermer un grand nombre de circuits. L'usage de ces commutateurs est très répandu dans l'industrie (voir la Fig. 24). Le mécanisme de commutation consiste en un arc de contacts fixes raccordés aux circuits sur lesquels doivent s'effectuer les connexions. L'électro-aimant entraîne les contacts mobiles ou rotatifs (aussi appelés cames) vers le jeu de contacts désirés de l'arc de contacts.

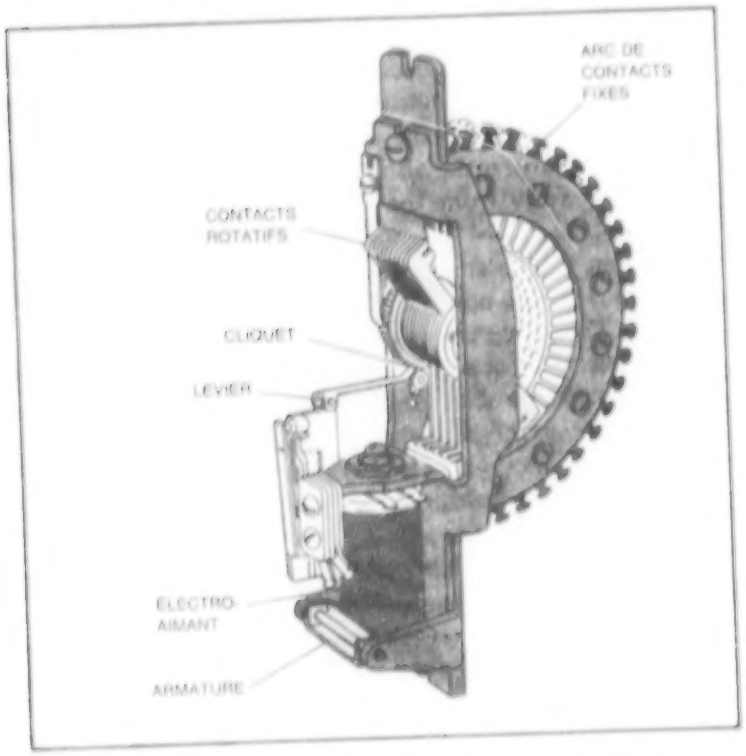


Fig. 24. Les commutateurs à gradins comme celui-ci sont utilisés dans les installations industrielles. Les compagnies de téléphone emploient également une grande quantité de ces commutateurs.

L'armature est attirée par une impulsion de courant traversant l'électro-aimant comme dans la sonnette. Le mouvement de l'armature pousse un levier contre le cliquet qui est monté sur l'arbre à cames. Les cames avancent ainsi vers le jeu de contacts suivant. Le déplacement des cames vers un jeu de contacts est fonction du nombre d'impulsions traversant l'électro-aimant.

1 Un commutateur à gradins est aussi appelé commutateur pas à pas.

Certains commutateurs sont automatiquement ramenés à leur position de départ après avoir été enclenchés.

34 Solénoïde et plongeur

Un *solénoïde* est souvent considéré comme une bobine sans noyau de fer. Dans certaines applications industrielles, le terme «solénoïde» désigne une bobine à noyau mobile.

Si un solénoïde et un morceau de fer sont placés dans la position représentée sur la figure 25, le fer est attiré par le solénoïde. Les lignes de force traversent le fer et le magnétisme par induction, lui donnant la polarité indiquée ici.

Puisque les pôles de noms contraires s'attirent, le noyau (appelé plongeur) est attiré vers l'intérieur du bobinage, près du centre de celui-ci. À cause de la force avec laquelle le noyau plonge dans le solénoïde, la combinaison solénoïde — plongeur peut être utilisée pour exécuter certaines opérations mécaniques, comme l'ouverture et la fermeture de l'électricité, de l'eau et de l'huile.

Si le solénoïde est complètement enfermé dans un écran magnétique, l'effet magnétique augmente considérablement. Lorsque le courant circule, le plongeur est attiré avec plus de force qu'il ne le serait dans un bobinage ouvert.

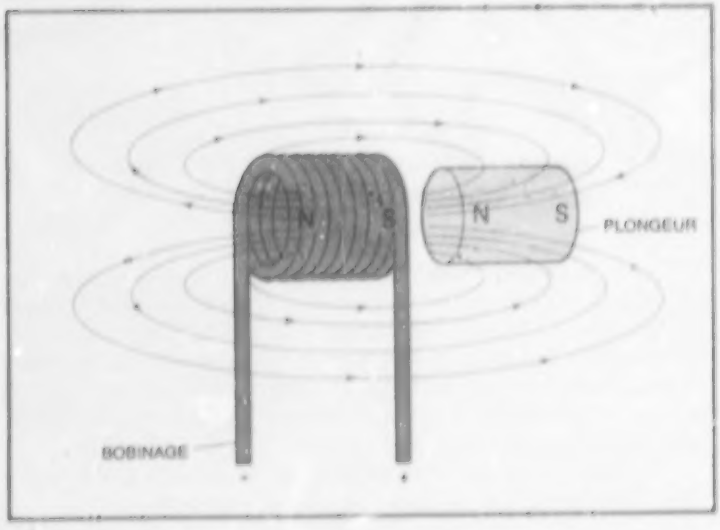


Fig. 25. Le courant dans le bobinage attire le plongeur directement au centre de celui-ci. Ce type d'ensemble bobinage-plongeur est souvent utilisé pour ouvrir et fermer des robinets comme un robinet mélangeur d'eau chaude et d'eau froide.

Induction électromagnétique

35 Rapport entre le champ magnétique, la tension et le mouvement relatif

Vous vous souvenez que lorsque le courant traverse un bobinage, il se produit un champ magnétique. Si un conducteur se déplace dans un champ magnétique, une tension y est *induite*. La tension induite est une forme d'*induction électromagnétique*. Plusieurs effets de ce type d'induction seront décrits dans les sections suivantes.

Lorsqu'un conducteur se déplace et coupe des lignes de force magnétique une tension y est induite sous l'action génératrice de l'induction électromagnétique.

Lorsqu'un conducteur se déplace et coupe des lignes de force magnétique, une tension y est induite sous l'*action génératrice* de l'induction électromagnétique.

Lorsqu'un conducteur sous tension est placé dans un champ magnétique, il commence à se déplacer sous *l'action motrice* de l'induction électromagnétique.

Lorsqu'on *varie* la tension d'un conducteur sans que celui-ci se déplace, ses lignes de force varient et *induisent* une tension dans un conducteur placé dans son champ en raison de l'*inductance mutuelle*.

36 Action génératrice de l'induction électromagnétique

La figure 26 montre l'*action génératrice* de l'induction électromagnétique. Un conducteur est placé entre les pôles d'un aimant. Lorsque le conducteur se déplace vers le haut et que le flux magnétique circule de droite à gauche, la direction de la tension induite engendre un flux de courant dans la direction indiquée. Le circuit comprend un conducteur mobile et un galvanomètre. L'aiguille de cet instrument sensible peut indiquer de petites intensités de courant.

Il existe un rapport bien défini entre la *direction du déplacement d'un conducteur*, *la direction du flux magnétique* et *la direc-*

tion du flux de courant dans le conducteur. En connaissant deux de ces directions, nous pouvons déterminer la troisième à l'aide de la règle de la main droite de Fleming. [Pour le courant conventionnel]

Règle. Placez le pouce, l'index et le majeur de la main droite à angle droit l'un par rapport à l'autre. Pointez le pouce dans la direction du déplacement du conducteur et l'index dans la direction du flux magnétique. Votre majeur indique alors la direction de la tension induite. Le courant induit circule dans la direction de la tension induite.

La figure 26 montre comment appliquer cette règle. Remarquez que le conducteur se déplace vers le haut, tel qu'indiqué par le pouce et le flux magnétique se déplace vers le haut, de droite à gauche, tel qu'indiqué par l'index. La polarité de la tension induite est telle que le flux du courant se dirige vers le lecteur tel qu'indiqué par le majeur.

Si l'on inverse la direction du champ magnétique ou celle du déplacement du conducteur, la direction de la tension induite et du courant ainsi produite est inversée.

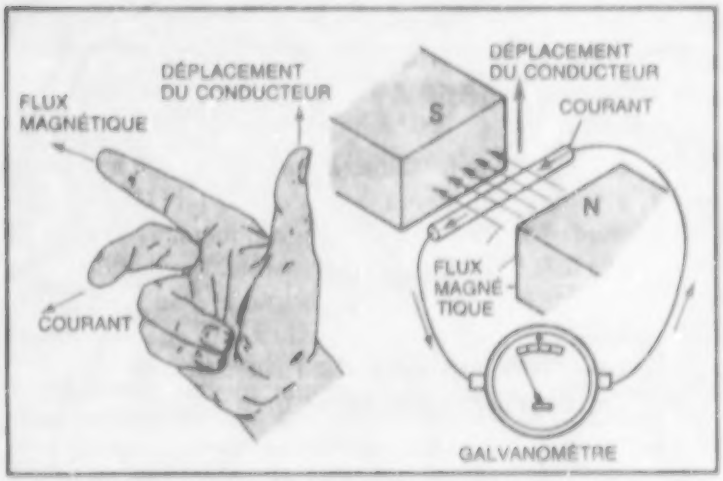


Fig. 26. La direction du champ est de droite à gauche, alors que le conducteur se déplace vers le haut. Le courant induit par l'action génératrice de l'induit électromagnétique circule dans le conducteur dans la direction indiquée par les flèches.

37 Valeur de la tension induite

Lorsqu'on se réfère à l'induction électromagnétique, on se réfère plutôt à la tension induite qu'au courant induit. La valeur de la tension

induite dans un conducteur qui se déplace dans un champ magnétique, dépend de trois facteurs:

1) l'intensité du champ magnétique dans lequel le conducteur se déplace
2) la vitesse de déplacement du conducteur
3) la longueur du conducteur

Plus le champ magnétique est intense et le déplacement du conducteur rapide, plus élevée est la valeur de la tension induite.

Un conducteur en spirale se déplaçant dans un champ magnétique a l'effet d'un conducteur plus long. Plus il y a d'enroulements, plus la tension induite est élevée.

Le courant produit par la tension induite ne circule que si le conducteur mobile fait partie d'un circuit fermé. Si une charge électrique ou un appareil est raccordé au conducteur mobile, la tension induite alimente l'appareil. En pratique, on obtient une tension induite à partir de générateurs, lesquels fournissent une grande partie de la puissance électrique qui alimentent nos résidences et l'industrie.

38 Action motrice de l'induction électromagnétique

Nous savons que lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique, une tension y est induite. En revanche, supposons qu'un conducteur sous tension soit placé dans un champ magnétique. L'interaction entre le champ magnétique autour du conducteur *et* celui dans lequel le conducteur se déplace force le conducteur à se déplacer. C'est ce qu'on appelle l'*action motrice* de l'induction magnétique.

On peut déterminer la direction du déplacement du conducteur, à l'aide de la règle pour les moteurs ou de la main gauche de Fleming. Référez-vous à la figure 27 qui explique cette règle:

Règle. Placez le pouce, l'index et le majeur de la main gauche à angle droit l'un par rapport à l'autre. Pointez l'index dans la direction du flux magnétique et le majeur dans la direction du flux de courant dans le conducteur. Le pouce indique alors la direction du déplacement du conducteur.

L'action motrice produite par un conducteur sous tension dans un champ magnétique s'utilise surtout dans les moteurs électriques ou autres appareils où le déplacement est produit de façon électrique.

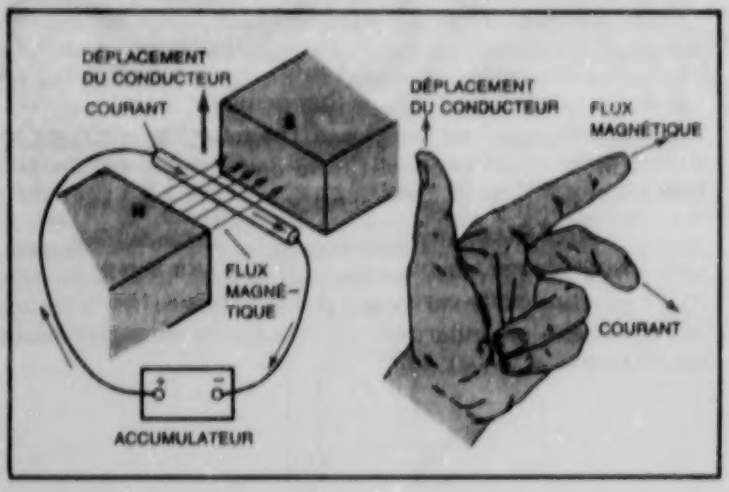


Fig. 27. Comme le conducteur sous tension se trouve dans un champ magnétique, l'induction électromagnétique le force à se *déplacer*. La direction du déplacement est déterminée par la règle de la main gauche de Fleming.

39 Inductance mutuelle et transformateur

L'inductance mutuelle est un effet de l'induction électromagnétique présente entre deux conducteurs (ou bobinages) sous tension. Lorsque deux conducteurs (ou bobinages) sont placés l'un près de l'autre (sur un noyau par exemple) et que l'un d'eux est mis sous tension, le flux magnétique produit par le courant du premier conducteur coupe le deuxième et y induit une tension.

Le principe de l'inductance mutuelle peut être démontré à l'aide du transformateur simple représenté sur la figure 28. Ce transformateur est composé de deux bobinages, souvent appelés enroulements, enroulés autour d'un noyau de fer. *L'enroulement primaire* est raccordé à un accumulateur par un interrupteur. Un voltmètre (V) est raccordé à *l'enroulement secondaire*. Lorsque l'interrupteur est ouvert, aucun courant ne circule dans l'enroulement primaire, aucun champ magnétique ne se forme et aucune tension n'est induite dans l'enroulement secondaire. Cependant, lorsque l'interrupteur est fermé, le courant circule dans l'enroulement primaire créant un champ magnétique autour de celui-ci.

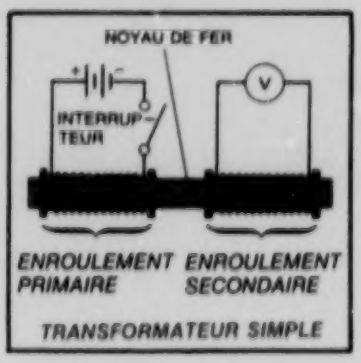


Fig. 28. Ce qu'il faut retenir sur les transformateurs, c'est qu'une *variation* de tension dans l'enroulement primaire *induit* une tension dans l'enroulement secondaire. On utilise des transformateurs pour coupler les tensions entre des circuits à courant alternatif (c.a.) ou pour changer le rapport des tensions. Ils sont surtout utilisés lorsque la tension appliquée doit être augmentée ou diminuée.

Les lignes magnétiques du champ se déplacent vers l'extérieur et coupent les spires de l'enroulement secondaire, induisant par le fait même une tension dans celui-ci. On peut lire cette tension sur le voltmètre.

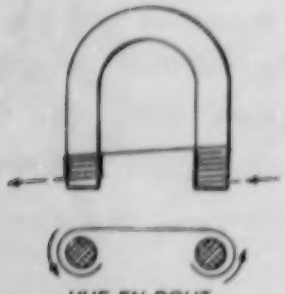
La tension fournie par l'accumulateur est à courant continu (c.c.). Cette tension modifie l'induction magnétique *seulement* si l'interrupteur est d'abord ouvert ou fermé. Par conséquent, une tension est induite dans l'enroulement secondaire, seulement pendant le court laps de temps où le circuit de l'enroulement est ouvert ou fermé. Dès que l'interrupteur est fermé, la tension momentanée induite dans l'enroulement secondaire n'aura donc qu'une seule polarité ou direction: à la hausse. Lorsque l'interrupteur est ouvert, la tension induite dans l'enroulement primaire aura donc la polarité inverse: à la baisse. Lorsque la tension de l'enroulement primaire varie continuellement, tel que dans un circuit à courant alternatif, la tension induite demeure dans l'enroulement secondaire tant et aussi longtemps que la tension de l'enroulement primaire varie — et cette tension secondaire induite est alternative.

Exercice de contrôle 4

Vous allez maintenant faire une petite pause pour revoir quelques points-clés. Si vos réponses ne correspondent pas aux nôtres, révisez les sections citées en référence.

1. Si vous placez un noyau de fer dans un solénoïde, vous augmentez, diminuez la force d'attraction du solénoïde.

2. Vrai ou faux? Vous enroulez deux bobines autour de la barre de fer en U ci-dessous. Le courant circule dans la direction indiquée par les flèches. Vous avez fabriqué un bon électro-aimant.



VUE EN BOUT

3. La partie mobile d'un relais est communément appelée:
   A. Contact de fermeture
   B. Cliquet
   C. Bâti
   D. Armature

4. Le fonctionnement d'une sonnette ou d'un ronfleur consiste en une série de mouvements relatifs, mouvements de ruptures et de fermetures du circuit d'un électro-aimant.

5. Comment désigne-t-on le dispositif électromagnétique qui effectue la connexion étape par étape d'un grand nombre de circuits?

6. Comment désigne-t-on le dispositif électromagnétique qui utilise un noyau mobile pour effectuer un travail mécanique?

7. Quels sont les trois éléments essentiels à une induction électromagnétique?

Vos réponses

1. _____

2. Vrai ou faux
   (*Encerclez votre choix*)

3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

7. _____
   _____
   _____

Les réponses sont données à la page suivante.

8. Étudiez la figure représentant la règle de Fleming (main gauche) pour l'induction électromagnétique. Quelle est la direction indiquée par chacun des doigts? S'agit-il d'une action génératrice ou motrice?

Vos réponses

8. ____ Pouce
____ Index
____ Majeur
____ Type d'action

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 4

1. augmentez Section 29
2. Faux Section 30, Fig. 21 (le courant circule dans la même direction autour des deux noyaux, ce qui signifie qu'il y a très peu sinon aucune attraction magnétique).
3. *D* armature Section 31
4. de ruptures et de fermetures Section 32
5. Commutateur à gradins Section 33
6. Solénoïde Section 34
7. — Le champ magnétique
— La tension du conducteur
— Le mouvement relatif du champ et du conducteur Section 35
8. — Mouvement du conducteur
— Champ magnétique
— Flux de courant
— Motrice Section 38, Fig. 27

Examen personnel

Lisez attentivement chacune des phrases ci-dessous et assurez-vous que vous en comprenez bien le sens. Chaque phrase est suivie de quatre mots, phrases ou symboles, dont un seul est correct. Faites un X sur la lettre qui correspond à votre réponse.

1. Si vous plongez un aimant droit dans de la limaille de fer, cette dernière est attirée par:

   A. Les deux extrémités de l'aimant.
   B. Tout l'aimant.
   C. Seulement le pôle nord de l'aimant.
   D. Seulement le pôle sud de l'aimant.

2. En magnétisme, comment les lignes de force circulent-elles?

   A. Elles quittent le pôle sud de l'aimant pour y entrer de nouveau par le pôle nord.
   B. Elles quittent le pôle nord de l'aimant pour y entrer de nouveau par le pôle sud.
   C. Elles quittent l'aimant à la ligne neutre pour y entrer de nouveau par les deux pôles.
   D. Elles quittent les deux pôles de l'aimant pour y entrer de nouveau par la ligne neutre.

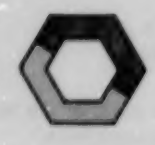
3. Si on vous demandait de choisir une substance magnétique, laquelle choisiriez-vous?

   A. Verre
   B. Papier
   C. Bois
   D. Fer

4. Lequel des circuits suivants est un circuit magnétique fermé?

   A.

   B.

   B. 

   D.

5. Qu'est-ce qui pousse les lignes magnétiques dans un circuit magnétique?

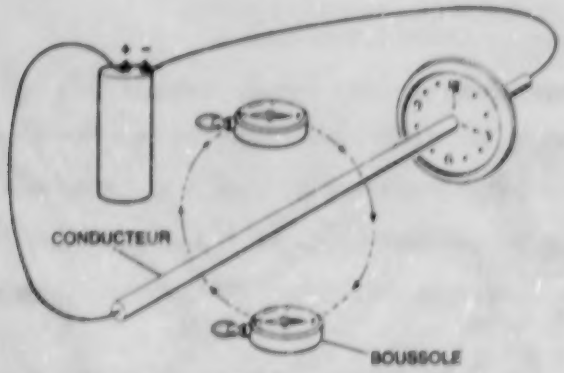
   A. Réluctance
   B. Hystérésis
   C. Force électromotrice
   D. Force magnétomotrice

6. Lequel des termes suivants détermine le laps de temps requis par une substance pour acquérir ou perdre son magnétisme?

   A. Rémanence
   B. Saturation magnétique
   C. Hystérésis
   D. Perméabilité

7. Votre contremaître vous dit que le courant électrique part du côté positif de la source, traverse la charge et se dirige vers le côté négatif de la source. À quelle théorie du flux de courant fait-il référence?

   A. Des électrons
   B. Conventionnelle
   C. Statique
   D. Magnétique



8. Supposons un conducteur raccordé à une pile et placé entre deux boussoles, comme le représente la figure ci-dessus. Un courant électrique traverse le conducteur. Quelle est la direction du pôle nord de l'aiguille de chaque boussole?

   A. Identique à celle des lignes de force.
   B. Opposée à celle des lignes de force.
   C. Identique à celle du flux de courant traversant le conducteur.
   D. Opposée à celle du flux de courant traversant le conducteur.

9. Comment désigne-t-on le dispositif électromagnétique qui peut faire fonctionner un interrupteur lorsque le courant traverse sa bobine?

   A. Aimant droit
   B. Aimant en U
   C. Relais
   D. Noyau

10. Comment désigne-t-on le dispositif utilisé pour coupler les tensions c.a. entre un enroulement primaire et un enroulement secondaire?

    A. Bobine
    B. Électro-aimant
    C. Transformateur
    D. Interrupteur

Vous trouverez les réponses à la page 295.

Magnétisme et électromagnétisme

AF0107

(Lexiques)

Français	Anglais
Aimant	Magnet
Aimant permanent	Permanent Magnet
Armature	Armature
Auto-induction	Mutual Inductance
Battant	Clapper
Bobinage	Winding
Champ magnétique	Magnetic Field
Commutateur pas-à-pas	Stepping Switch
Commutateur pas-à-pas	Stepper
Contact mobile	Movable Contact
Coupure	Break
Courant	Current
Curseur	Wiper
Densité de flux	Flux Density
Dispositif	Device
Électro-aimant	Electromagnet
En fer à cheval	Horseshoe Shaped
Enroulement (bobine)	Coil
Force	Strength
Force coercitive	Coercive Force
Interrupteur	Switch
Marteau	Hammer
Noyau	Core
Parcours	Path
Position de départ	Reset
Sonnette	Buzzer
Spirale magnétique	Magnetic Whorl

Anglais	Français
Armature	Armature
Break	Coupure
Buzzer	Sonnette
Clapper	Battant
Coercive Force	Force coercitive
Coil	Enroulement (bobine)
Core	Noyau
Device	Dispositif
Electromagnet	Électro-aimant
Flux Density	Densité de flux
Hammer	Marteau
Horseshoe Shaped	En fer à cheval
Magnet	Aimant
Magnetic Field	Champ magnétique
Magnetic Whirl	Spirale magnétique
Movable Contact	Contact mobile
Mutual Inductance	Auto-induction
Path	Parcours
Permanent Magnet	Aimant permanent
Reset	Position de départ
Stepper	Commutateur pas-à-pas
Stepping Switch	Commutateur pas-à-pas
Switch	Interrupteur
Winding	Bobinage
Wiper	Curseur

Génératrices à courant continu

AF0108

Génératrices à courant continu

Objectifs d'enseignement

Une des premières sources d'énergie fut l'accumulateur. Celui-ci fournit un courant continu utilisé pour l'éclairage, le fonctionnement des moteurs ainsi que certains procédés industriels tel que la galvanoplastie. Ces accumulateurs, cependant, doivent être continuellement rechargés pour bien fonctionner. L'introduction sur le marché de la génératrice à courant continu (ou dynamo) a permis une utilisation plus économique du courant continu.

L'équipement alimenté en courant continu est encore très utilisé dans les usines. En effet, les moteurs alimentés par un courant continu sont plus faciles à contrôler que ceux exigeant un courant alternatif. Ils conviennent également mieux aux grues, aux treuils et aux élévateurs. Ainsi, à titre d'électricien d'entretien, vous devez connaître la façon dont on peut produire un courant continu ainsi que les types de génératrices à courant continu et leurs utilisations.

À la fin du cours, vous devriez être en mesure:

- *D'expliquer le principe fondamental de la production d'un courant continu.*
- *D'identifier les facteurs qui influent sur la valeur de la tension induite.*
- *De décrire la fonction d'un collecteur.*
- *D'établir la différence entre les connexions de l'inducteur des dynamos séries, shunt ou compound.*
- *D'expliquer le but du décalage des balais.*
- *De discuter l'utilité des pôles de commutation et des enroulements de compensation pour un meilleur fonctionnement de la dynamo.*
- *D'énumérer les différents types de pertes dans une machine.*

Table des matières

Éléments de base de la génératrice

Tension produite par électromagnétisme	251
Direction du courant	252
Induit à enroulement simple	253
Effets produits par la rotation de la bobine	254
Tension produite dans une bobine à enroulements multiples	254
Valeur de la tension induite	255
Variations de la tension induite	255
Forme d'onde de la tension	256
Action du collecteur	257
Action des balais	258
Exercice de contrôle 1	259

Pièces essentielles de la dynamo

Bobinage inducteur	261
Connexions de l'inducteur	262
Excitation de l'inducteur	263
Induit d'une dynamo	263
Balais	264
Porte-balais	264
Paliers et roulements	266
Exercice de contrôle 2	267

Rendement de la dynamo

Réaction d'induit	268
Effets de la réaction d'induit	270
Décalage des balais	270
Pôles de commutation	271
Enroulement de compensation	271
Courants de Foucault	272
Perte par hystérésis	273
Exercice de contrôle 3	274

Dynamos de type

Types de pertes dans l
Pertes dues au frottem
paliers et à la résista
Pertes causées par le f
Pertes dues au contact
Pertes dans le cuivre
Pertes dans le fer
Pertes dans la charge
Rendement d'une dyna
Régulation de la tensio
Fonctionnement des gé
Exercice de contrôle

Examen personne

Lexiques

e industriel

les machines 276
ent dans les
ance de l'air 276
frottement des balais 277
des balais 277
277
278
de dispersion 278
amo 278
on 279
énératrices en parallèle 279
4 280

el 281

284

Éléments de base de la génératrice

1 Tension produite par électromagnétisme

Dans un cours précédent, vous avez appris une loi fondamentale de l'électricité: lorsqu'un fil (ou autre conducteur d'électricité) se déplace dans un champ magnétique, une tension y est induite. Si ce fil ou conducteur fait partie d'un circuit électrique complet, tel que le représente la figure 1, la tension créée fera circuler le courant dans le circuit. Nous disons donc que la tension est *induite* dans

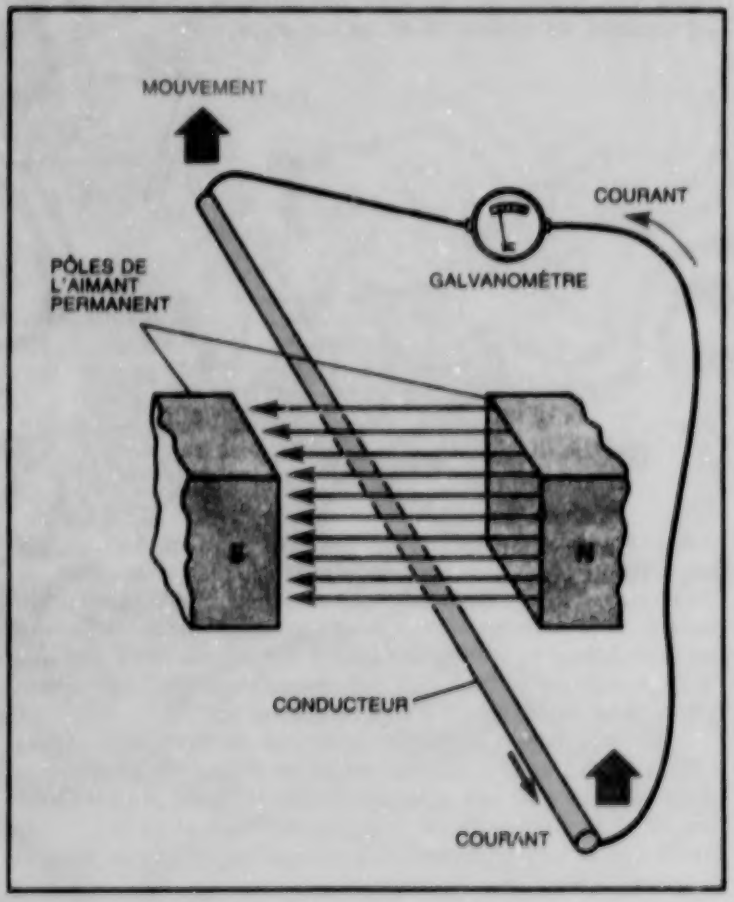


Fig. 1. Le mouvement ascendant d'un conducteur, entre les pôles d'un aimant, induit le courant dans le conducteur. Ce courant cause le déplacement de l'aiguille du galvanomètre (instrument de mesure électrique très sensible) dans une certaine direction. Si le conducteur est déplacé vers le bas, le courant circule dans la direction opposée et l'aiguille du galvanomètre se déplace alors dans une direction opposée à la précédente.

le conducteur lorsque celui-ci se déplace dans le champ magnétique. Donc l'induction du courant est produite par l'induction de la tension.

Vous avez aussi appris, dans un cours précédent, que la *force électromotrice* (f.é.m.) et le *potentiel électrique* désignaient également la tension. Vous devez vous familiariser avec ces noms, car vous aurez à les utiliser au cours de votre travail d'électricien.

Le mouvement relatif d'un conducteur dans les lignes de force magnétique (lignes imaginaires formant un champ magnétique) produit l'induction d'une tension dans le conducteur. Par «mouvement relatif» nous voulons dire que les lignes traversent le conducteur ou que le conducteur se déplace au travers des lignes ou encore que le conducteur et les lignes peuvent se déplacer et induire une tension.

Le courant induit est un courant réel; il peut circuler dans un circuit et effectuer un travail. L'action génératrice par induction électromagnétique est la production d'une tension et d'un courant entraînée par un mouvement relatif entre les conducteurs et le flux (autre nom pour les lignes de force magnétique).

En pratique, le mouvement du champ magnétique ou des conducteurs est produit par une force mécanique quelconque comme, par exemple, un moteur Diesel ou à essence.

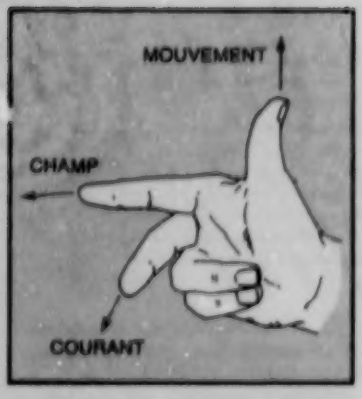


Fig. 2 La règle de la main droite montre bien le rapport entre le mouvement du conducteur, le champ et le courant conventionnel. En inversant soit la direction du champ magnétique, soit celle du mouvement du conducteur, on inverse aussi la polarité de la tension induite (et la direction du courant résultant).

2 Direction du courant

Dans le cours sur le magnétisme, vous avez appris qu'il y a un rapport défini entre les directions du mouvement d'un conducteur, du champ magnétique et du *flux de courant conventionnel* dans un conducteur. Si deux de ces directions sont connues, on peut déterminer la troisième à l'aide de la règle de la main droite de Fleming ou de la règle de l'induction électromagnétique pour les génératrices. Cette règle (fig. 2) s'énonce comme suit:

Placez le pouce, l'index et le majeur de votre main droite à angle droit l'un par rapport à l'autre. Pointez le pouce dans la direction du mouvement du conducteur et l'index dans la direction du champ magnétique; le majeur indique alors la polarité positive de la tension induite. Le courant induit circule dans la direction indiquée par le majeur.

La figure 1 peut également vous aider à mieux comprendre cette règle. Remarquez que le conducteur se déplace vers le haut, tel qu'indiqué par le pouce, et que le champ magnétique se dirige de droite à gauche, tel qu'indiqué par l'index. La polarité de la tension induite est telle que le flux de courant est dirigé vers le lecteur, tel qu'indiqué par le majeur.

3 Induit à enroulement simple

Une génératrice simple, comme celle représentée sur la figure 3, comprend une bobine à enroulement simple. Les lignes de force magné-

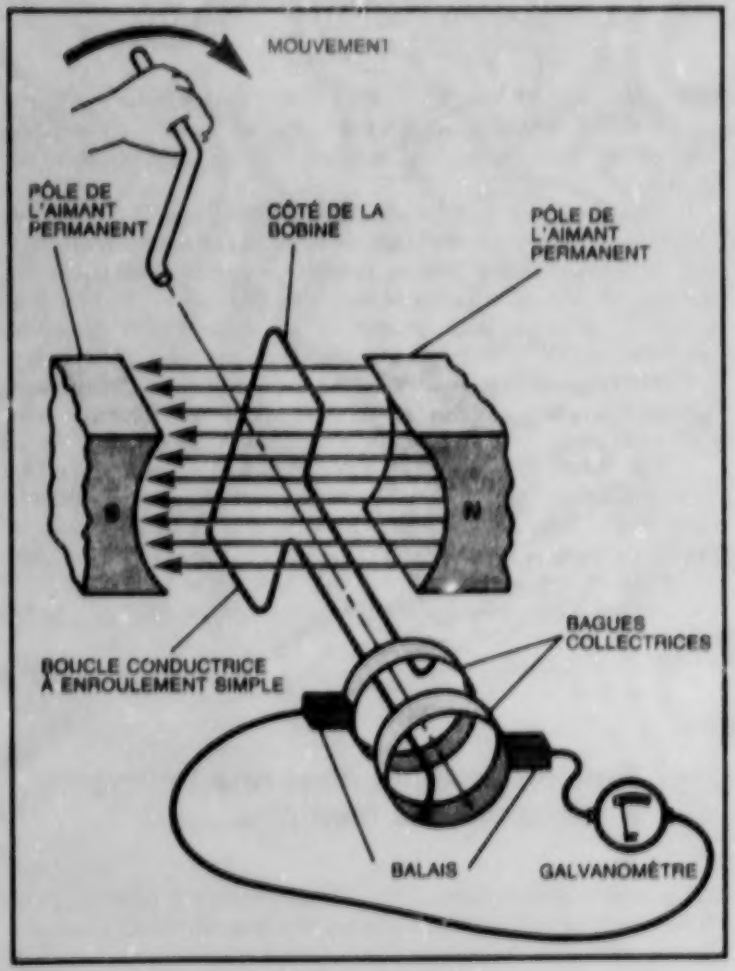


Fig. 3 Une génératrice comprend une boucle conductrice (ou induit) tournant à l'intérieur d'un champ magnétique. Lorsque l'induit tourne, les sections horizontales de la boucle coupent les lignes de force magnétique pour produire un courant. Les extrémités de l'induit sont raccordées aux bagues d'un collecteur qui tournent avec l'induit. Des balais fixes frottent sur les bagues et acheminent le courant à un circuit extérieur; dans ce cas-ci, un galvanomètre.

tique sont indiquées par des lignes horizontales se terminant par des flèches et pointant du pôle Nord vers le pôle Sud.

La bobine s'appelle l'induit. La flèche courbe (haut) indique la rotation (dans le sens des aiguilles d'une montre) de l'induit. Les extrémités de l'induit sont raccordées aux bagues collectrices. Les parties les plus longues de l'induit sont appelées *côtés de la bobine* et sont raccordées à l'arrière de celle-ci. Essentiellement, chaque côté est en fait un conducteur droit séparé, comme celui représenté sur la figure 1. Lorsque la bobine tourne de l'arbre dans le champ magnétique, une tension est produite dans chaque côté de la bobine.

4 Effets produits par la rotation de la bobine

Si vous faites tourner la bobine (fig. 3) avec la manivelle (ou autrement), chacun de ses côtés coupera les lignes de force magnétique à la même vitesse. Ainsi, dans les deux côtés, la tension induite est la même.

Toutefois, en y réfléchissant bien, vous constaterez que chaque côté de la bobine coupe les lignes de force dans une direction différente. Lorsque la bobine tourne dans la direction indiquée par la flèche courbe, le côté inférieur se dirige du bas de l'illustration vers la gauche, alors que le côté supérieur part du haut en se déplaçant vers la droite. Donc, la tension induite dans l'un des côtés est opposée à celle induite dans l'autre côté. La tension dans le côté inférieur achemine le courant dans une direction, alors que la tension dans l'autre côté envoie le courant dans la direction opposée.

Cependant, puisque les deux côtés de la bobine sont raccordés pour former une boucle fermée, les tensions s'additionnent. Il en résulte donc que la tension totale pour toute la boucle est le double de la tension existant dans chacun des côtés.Cette tension totale est transmise aux *balais* (frottant sur les bagues du collecteur) et peut être appliquée à un circuit extérieur.

5 Tension produite dans une bobine à enroulements multiples

Si une extrémité de la bobine (fig. 3) était enroulée une fois de plus, faisant ainsi un autre tour complet avant d'être raccordée à la bague du collecteur, on obtiendrait une bobine *à double enroulement*.

La tension totale entre les bagues collectrices serait maintenant égale *au double* de la tension totale d'une bobine à enroulement simple. Et de même, si le nombre de tours était maintenant de trois ou plus, la tension totale produite serait également multipliée par trois ou plus. Il arrive souvent que les dynamos (génératrices à courant continu) aient des induits munis de bobines à enroulements multiples.

6 Valeur de la tension induite

La valeur de la tension induite dans un conducteur coupant des lignes de force magnétique, dépend de la vitesse du conducteur traversant ces lignes de force. Ce taux est proportionnel à l'intensité du champ magnétique, à la longueur du conducteur et à la vitesse de rotation. Plus il y a de lignes formant le champ magnétique dans lequel le conducteur se déplace, plus il y a de lignes coupées pendant dans une période de temps donnée. En outre, plus la partie du conducteur coupant ces lignes est longue, plus il y a de lignes coupées. Finalement, plus le conducteur se déplace rapidement, plus il y a de lignes coupées pendant une période donnée, et plus élevée sera la tension induite.

7 Variations de la tension induite

Lorsqu'une bobine tourne dans un champ magnétique (voir fig. 3), la tension engendrée n'a pas de valeur fixe régulière. De même, la tension induite aux bornes de la bobine, n'a pas toujours la même polarité. La valeur de la tension varie pendant la rotation de la bobine; selon la position des côtés, il peut y avoir plusieurs lignes de coupées, quelques-unes ou même aucune. La polarité de la tension varie parce qu'à un certain moment, un côté de la bobine se déplace vers le bas, à travers les lignes de force, alors qu'un demi-tour plus tard, il se déplace vers le haut, à travers les mêmes lignes.

Regardez la bobine sur les figures 4 (*a*) à 4 (*d*), qui montrent une vue en bout des côtés d'une bobine. En (*a*), la bobine est dans une position verticale (de haut en bas) entre les pôles. Il n'y a aucune tension induite parce qu'à cet instant, le mouvement de la bobine

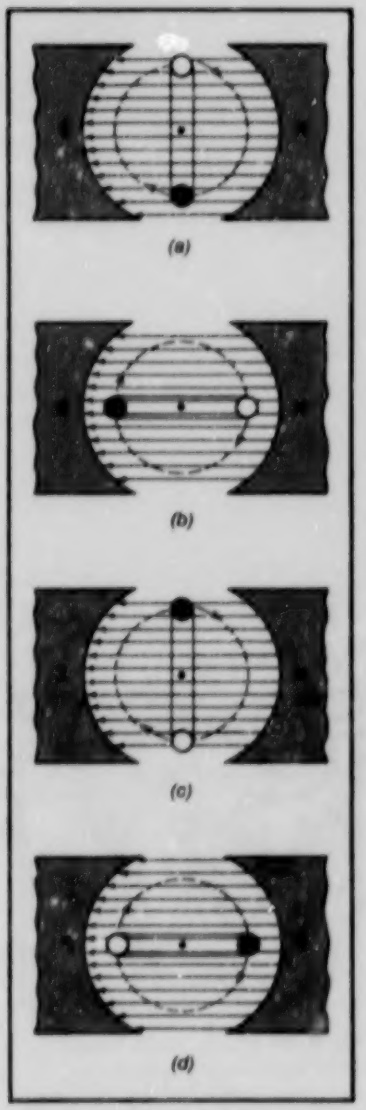


Fig. 4. Un nombre maximal de lignes de force sont coupées lorsque le conducteur se déplace perpendiculairement au champ magnétique. Puisqu'il y a changement de direction entre les figures (*b*) et (*c*), la direction du courant induit est inversée.

est parallèle à la direction du flux, donc elle ne coupe aucune ligne. Regardez maintenant la figure 4 (*b*). La bobine est en ligne droite avec les pôles et les côtés coupent les lignes de force à angle droit. Étant donné que le maximum de lignes est coupé, le maximum de tension sera ainsi induit dans l'un des côtés de la bobine.

Regardez maintenant la figure 4 (*c*). Plus la bobine poursuit sa rotation vers la position verticale, moins il y a de lignes de force coupées. Donc, la valeur de tension diminue jusqu'à ce que celle-ci soit de nouveau nulle. À partir de ce moment, la bobine effectue une autre rotation vers la position horizontale (voir fig. 4*d*), ce qui augmente ainsi la valeur de la tension produite. La bobine, toutefois, coupe les lignes dans la direction opposée à celle indiquée sur la figure 4(*a*) (première demi-révolution).

Au cours du dernier quart de révolution, la bobine approche de la position verticale du début (voir fig. 4*a*) et la tension induite diminue jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau nulle. C'est à ce moment que la bobine se déplace parallèlement aux lignes de forces.

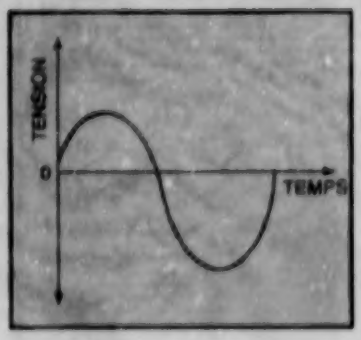


Fig. 5. Le courant ou la tension produite dans une bobine d'alternateur pendant une révolution complète sont en réalité une tension ou un courant alternatifs.

8 Forme d'onde de la tension

La courbe rouge sur le graphique de la figure 5 représente la forme d'onde de la tension produite. Cette courbe représente les variations de la tension ou du courant pendant un tour de la bobine. Lorsque la bobine est dans la position verticale, la tension est nulle et est représentée par 0. Lorsque la bobine est en ligne avec les pôles, (fig. 4 (*b*)), elle coupe les lignes de force perpendiculairement et, c'est à ce moment, que la tension, maximale y est induite.

À partir de ce moment, la bobine poursuit sa rotation en produisant la tension indiquée par la courbe de la tension. Cette courbe, communément appelée cycle, représente l'onde de la tension pendant un tour. Lorsque cette courbe monte au-dessus de la ligne de tension zéro, elle indique la polarité positive (+) de cette dernière; quand elle descend au dessous de la ligne du zéro elle indique la polarité négative (−).

Puisque la tension change de polarité à chaque demi-cycle, le courant change de direction. Il circule dans le circuit extérieur (voir fig. 3) d'une bague à l'autre, puis revient sur lui-même et circule dans la direction opposée.

9 Action du collecteur

La tension aux bagues collectrices de l'alternateur (voir fig. 3) est une tension alternative. Si nous voulons obtenir une tension continue, il faut obligatoirement convertir cette tension alternative en une tension à une seule polarité. Le collecteur et les balais de la dynamo remplissent cette fonction. Sans collecteur, toutes les dynamos seraient des génératrices à courant alternatif (ou alternateurs). Le collecteur est en fait une bague ou anneau formé de deux moitiés semi-circulaires appelées lames.

L'ensemble sert à interchanger les connexions aux extrémités de la bobine à l'instant même où la polarité de la tension est inversée. De cette façon, on peut obtenir une tension dont la polarité *ne sera pas* inversée. La figure 6 représente cette inversion des connexions dans une dynamo simple munie d'un collecteur et de balais. Contrairement à la figure 3 où les extrémités de la bobine sont raccor-

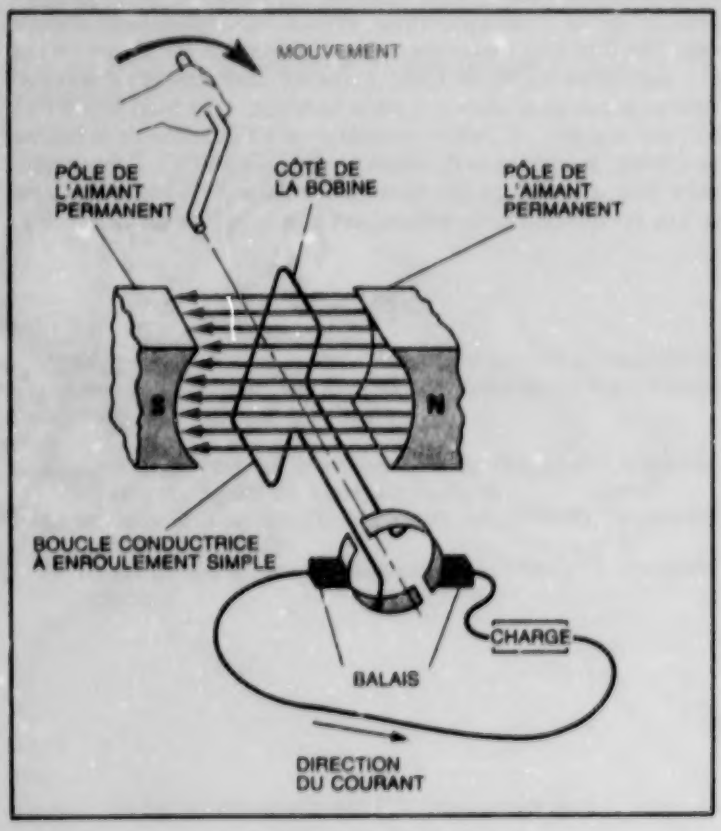


Fig. 6. La dynamo simple représentée ici comprend deux lames et une bague collectrice. Chaque extrémité de la bobine à enroulement simple est raccordée à une lame. Les lames sont isolées l'une de l'autre ainsi que de l'arbre, par un matériau isolant tel que du mica.

dées aux bagues collectrices et où la tension se trouve entre ces bagues collectrices, les extrémités de la bobine sont raccordées aux lames du collecteur.

10 Action des balais

Comme le montre la figure 6, il y a deux balais placés sur les lames du collecteur. Les balais viennent en contact par frottement avec la surface des lames du collecteur d'une machine rotative. Leur fonction est de procurer au courant un passage conducteur entre les pièces fixes et rotatives de l'appareil. Dans une dynamo, les balais recueillent le courant des lames du collecteur et effectuent la connexion entre le circuit extérieur et la charge.

Les balais sont montés et ajustés dans une position fixe de façon qu'au moment où la tension est inversée dans la bobine, une lame du collecteur quitte l'un des balais pendant que l'autre lame vient en contact avec l'autre balai. La polarité de chaque balai demeure donc la même. Conséquemment, chaque balai recueille le courant dans une direction seulement, tel qu'indiqué par les signes (+) et (−) inscrits sur les balais. Donc le courant alimentant le *circuit extérieur* et la charge est dans une seule direction — du balai positif (+) au balai négatif (−). Notez cependant qu'à l'intérieur de la bobine de l'induit, le courant va du négatif (−) au positif (+). Il faut également bien comprendre que le courant et la tension aux balais sont en fait des impulsions de tension, comme on le voit sur la figure 7.

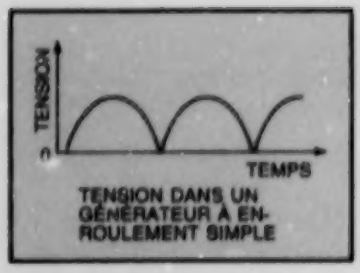


Fig. 7. La *commutation* est l'action d'inverser les connexions à la bobine dans le but d'obtenir une tension continue plutôt qu'alternative. La tension de sortie d'une dynamo est donc une tension pulsée ayant toujours la même polarité.

Exercice de contrôle 1

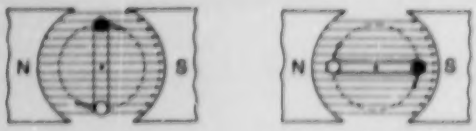
Faites une courte pause pour revoir quelques points-clés. Si vos réponses ne correspondent pas aux nôtres, révisez les sections citées en référence.

1. *Question:* Comment une génératrice électrique produit-elle une tension?
   Réponse: Un mouvement relatif entre les lignes de force magnétique et les _____ traversant ces lignes engendre une f.é.m. ou une tension.
   A. Résistances
   B. Pôles
   C. Conducteurs
   D. Isolateurs

2. Dans un induit à enroulement simple, les tensions produites dans chaque côté de la bobine (s'additionnent, s'annulent) _____. Pourquoi? Parce que les côtés de la bobine sont raccordés _____.
   A. Par des résistances
   B. Par des aimants
   C. Dans un circuit ouvert
   D. Dans une boucle fermée

3. La valeur de la tension induite dans un conducteur coupant des lignes de force, est proportionnelle à _____ du conducteur coupant ces lignes.

4. Sur quelle figure la tension induite dans la bobine mobile est-elle maximale?



A B

Dans l'espace réservé en face de chaque groupe de mots de la colonne à droite, inscrivez la lettre correspondant à la phrase ci-dessous qui l'explique le mieux.

5. *a.* Est produite par un mouvement relatif des conducteurs traversant les lignes de force magnétique.
   b. Lorsque la direction de l'un d'eux est inversée, la tension induite est inversée.
   c. Convertit une tension alternative en une tension à une seule polarité.

La suite de ce questionnaire est à la page suivante.

Vos réponses

1. _____

2. _____
   _____

3. _____

4. _____

5. ___ Commutateur
   ___ Tension
   ___ Champ magnétique ou mouvement du conducteur

6. Étudiez la figure ci-dessous illustrant la règle de la main droite de Fleming pour l'induction électromagnétique. Quelle est la direction indiquée par chacun des doigts? S'agit-il de l'action motrice ou génératrice?

Vos réponses

6. Pouce _____
   Index _____
   Majeur _____
   Type d'action _____

Réponses à l'exercice de contrôle 1

1. C Conducteurs Section 1
2. s'additionnent D Dans une boucle terminée Section 4
3. La vitesse Section 6
4. B Section 7, Fig. 4
5. c Collecteur Section 9
   a Tension Section 1
   b Champ magnétique ou mouvement du conducteur Section 2, Fig. 2
6. Pouce: mouvement du conducteur. Index: flux magnétique inducteur. Majeur: flux du courant. Type d'action: génératrice Section 2, Fig. 2

(Dans A il n'y a aucune tension parce que le conducteur ne coupe aucune ligne de force).

(La règle de la main *droite* de Fleming est la règle pour les *génératrices*, alors que la règle de la main *gauche* de Fleming est pour les *moteurs*. La règle de la main gauche vous a été expliquée dans un cours précédent sur les moteurs à courant continu).

Pièces essentielles de la dynamo

11 Bobinage inducteur

Vous avez appris que les aimants permanents étaient utilisés comme source des lignes de force magnétique. Bien que les aimants permanents soient utilisés dans les moteurs et les génératrices de petites dimensions, ils ont certains désavantages qui limitent leur utilisation dans la plupart des appareils. Tout d'abord le flux magnétique d'un tel aimant diminue avec l'âge de l'aimant. De plus, la force d'un aimant permanent ne peut pas être modifiée pour des fins de contrôle. Les électro-aimants sont donc généralement utilisés pour fournir le champ magnétique des génératrices à courant continu.

La figure 8 représente la même dynamo simple décrite précédemment, comprenant un aimant et un conducteur. Ici, toutefois, elle est composée d'un électro-aimant et d'un conducteur. Le bobinage inducteur est formé d'un fil enroulé autour du pôle nord (N) et du pôle sud (S).

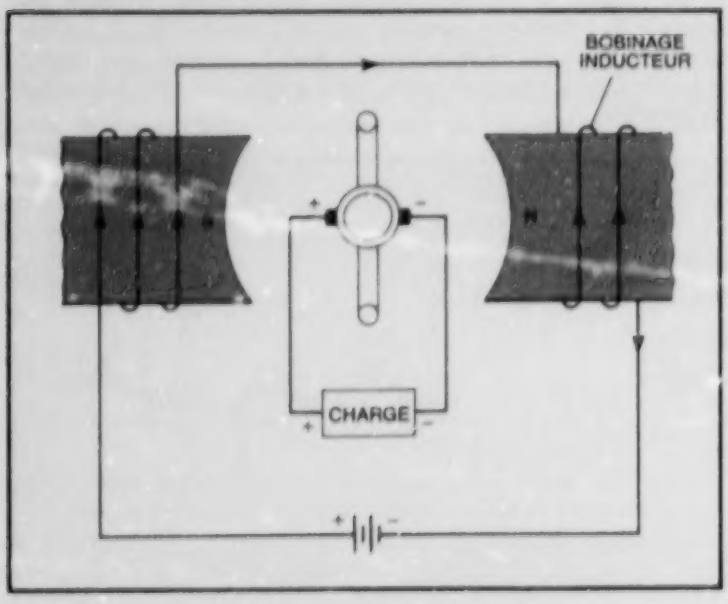


Fig. 8 La dynamo munie d'une bobine à enroulement simple de la figure 6 est représentée ici avec des bobinages inducteurs qui produisent le champ magnétique. Dans une dynamo standard, plusieurs bobinages inducteurs sont espacés également autour du bâti (carcasse) qui entoure l'induit.

Si ce bobinage est raccordé à une source de tension continue ayant la même polarité que celle montrée ici, un courant continu circulera dans le bobinage et produira un champ magnétique.

Le nombre de lignes de force magnétique produits par un électro-aimant dépend de l'intensité du courant et du nombre d'enroulements dans le bobinage. De plus, un bobinage avec un noyau de fer produira un plus grand champ magnétique que tout autre bobinage.

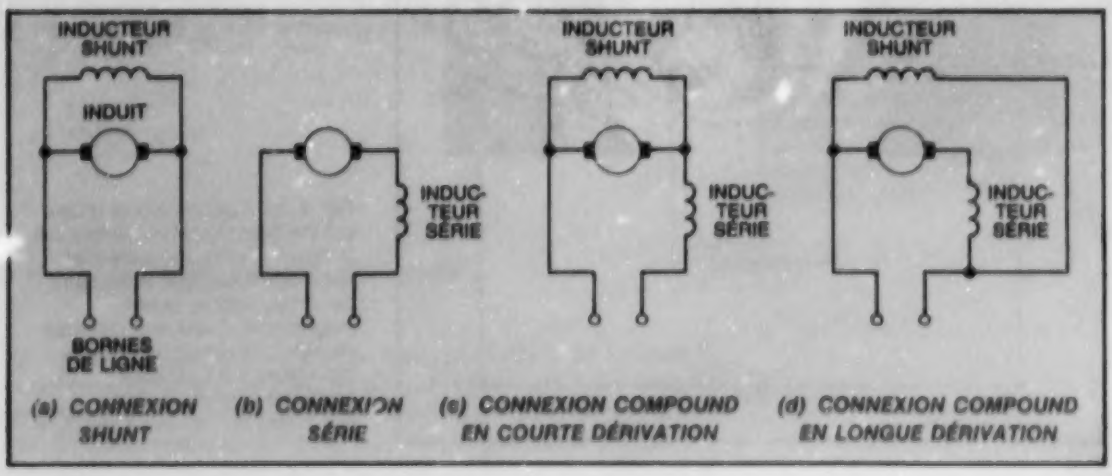
L'excitatrice est la source de courant continu utilisée pour produire le champ magnétique (ou champ inducteur). Il s'agit souvent d'une génératrice à courant continu bien qu'il arrive parfois qu'on utilise des accumulateurs ou une tension à courant alternatif redressée (changée en courant continu).

12 Connexions de l'inducteur

Selon la connexion électrique des bobinages inducteurs, les appareils à c.c. (moteurs et dynamos) peuvent être du type **shunt, série** ou une combinaison des deux appelée compound.

Le diagramme de la figure 9 (*a*) montre la connexion d'une dynamo shunt. Le bobinage inducteur, appelé champ de shunt, est raccordé directement en parallèle avec ou à travers l'induit. La tension secteur aux bornes de la ligne est égale à la tension dans l'induit et à celle dans le champ de shunt, comme dans tout circuit raccordé en parallèle.

Fig. 9 Les bobinages inducteurs des moteurs et des dynamos peuvent être raccordés à l'induit soit en série, soit en parallèle. Dans le cas des moteurs compound, les deux types de connexion peuvent être utilisés.



La figure 9 (*b*) montre la connexion d'une dynamo série. Le bobinage inducteur — ou champ série — est raccordé en série avec l'induit. Puisque tous les éléments d'un circuit série reçoivent le même courant, le courant traversant l'induit est donc égal à celui traversant l'inducteur série.

Les dynamos compound sont des machines ayant une combinaison d'inducteurs shunt et série. Comme on le voit sur la figure 9 (*c*), lorsque l'inducteur shunt est raccordé en parallèle avec l'induit mais en série avec l'inducteur série, la connexion est dite compound en courte dérivation. Lorsque l'inducteur shunt est raccordé en parallèle avec l'induit et l'inducteur série combinés, (fig. 9 (*d*), il s'agit d'une connexion compound en longue dérivation.

13 Excitation de l'inducteur

Les dynamos sont souvent classées selon la source d'excitation de leurs bobinages inducteurs. L'inducteur est à auto-excitation si le courant utilisé pour exciter les bobinages est tiré de l'induit de l'appareil. Les schémas (*a*) à (*d*) de la figure 9 montrent les différents types de connexion de l'inducteur à auto-excitation. On dit que l'inducteur est à excitation indépendante lorsque les bobinages sont excités par un courant produit par une source extérieure ou excitatrice. Les shémas (*a*) et (*c*) de la figure 10 montrent les deux types de connexions de l'inducteur à excitation indépendante. Dans les deux cas, l'inducteur shunt reçoit son énergie d'une excitatrice. En (*b*) toutefois, l'inducteur série est raccordé en série avec l'induit et reçoit la même tension secteur que l'induit.

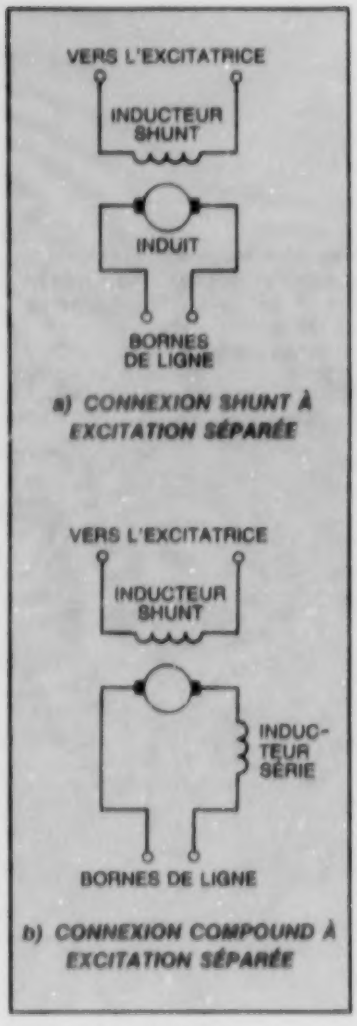


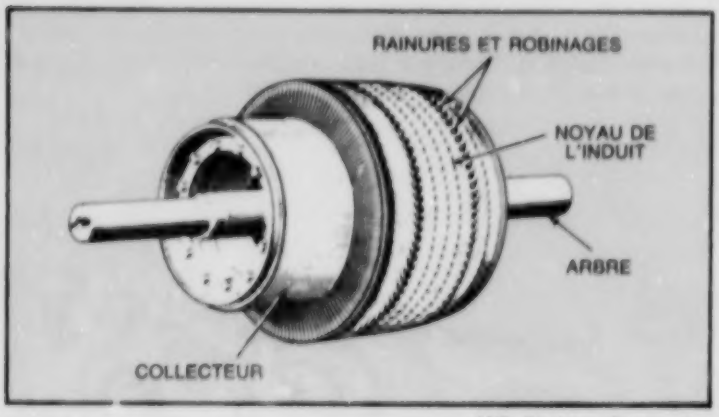
Fig. 10. Les génératrices à excitation indépendante sont du type shunt ou compound. Elle ne peuvent être du type série, comme sur la figure 9 (b).

14 Induit d'une dynamo

Si vous vous reportez à la dynamo simple représentée sur la figure 8, vous constaterez que les côtés de chaque bobine sont à une distance angulaire de 180 degrés. Toutefois, dans la pratique, les bobinages de l'induit sont montés par groupes, de sorte que chaque groupe couvre seulement une petite partie de la circonférence de l'induit. Ces

groupes sont placés dans des rainures et fixés dans un certain ordre par rapport à l'arbre.

La figure 11 représente l'induit d'une dynamo. Son noyau est muni de rainures dans lesquelles sont placés les conducteurs. Cet ensemble complet de bobinages, dans leurs rainures, est raccordé au collecteur et est monté sur l'arbre.



(Allis-Chalmers Corporation)

Fig. 11. L'induit d'une machine à c.c. est aussi appelé rotor (parce qu'il s'agit de la pièce rotative de la machine). Le noyau est composé de lamelles ou de plaques embouties en acier spécial dont l'épaisseur est de 0,4 mm (1/64 po).

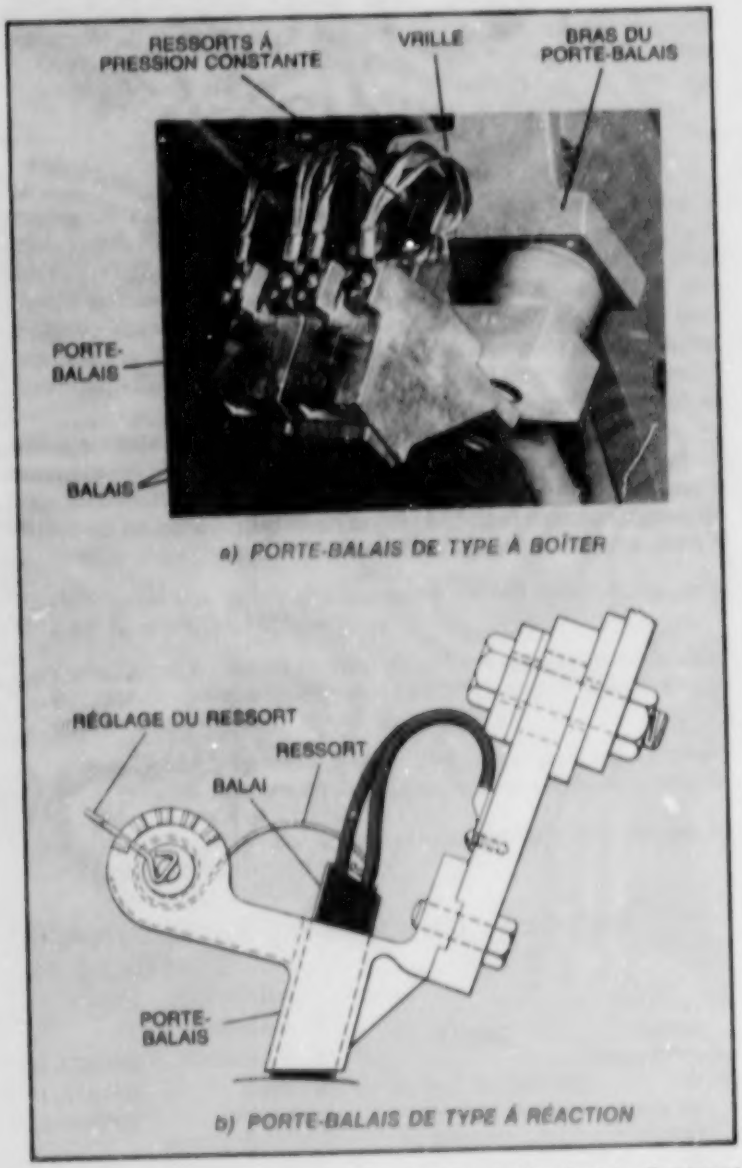
15 Balais

Des balais sont utilisés pour «raccorder» le collecteur de la dynamo à courant continu au circuit extérieur (ou à la charge). Les balais sont faits d'une sorte de charbon doux appelé graphite naturel. Les machines à c.c., à courant élevé, mais à faible tension, particulièrement les génératrices, utilisent un balai dont le charbon contient un mélange de cuivre pulvérisé. Les balais doivent être de qualité égale et ne pas rainurer ou canneler les lames du collecteur. La construction doit être robuste afin que les balais ne s'écaillent pas ou ne se brisent pas à cause des vibrations. Du fait de la rotation de l'induit, les balais doivent polir le collecteur jusqu'à ce qu'il soit d'un beau brun-chocolat, ce qui indique qu'un bon contact est maintenu entre les balais et le collecteur.

16 Porte-balais

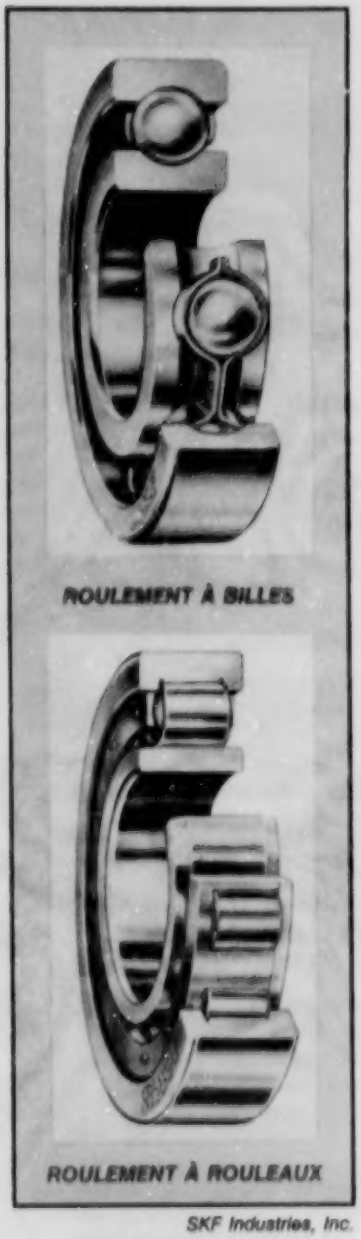
Les porte-balais portent et maintiennent en place les balais d'une machine à c.c. Un porte-balais contient un jeu de plusieurs balais au cas où le courant serait trop élevé pour un seul balai.

Il existe deux types principaux de porte-balais: à boîtier et à réaction. Le type à boîtier, comme le représente la figure 12 (*a*), comprend un boîtier ouvert aux deux extrémités, dans lequel le balai peut glisser. Si le boîtier est trop gros, le balai a trop de jeu et vibre. Par contre, si le boîtier est trop petit, le balai peut coller. On utilise donc des ressorts réglables pour maintenir une pression appropriée du balai sur le collecteur.



(*D.B. Flower Manufacturing Compagny*)

Fig. 12. L'ensemble complet des balais et des porte-balais est souvent appelé «montage de balais». Comme le bon fonctionnement des machines à c.c. dépend beaucoup du montage des balais, il est donc essentiel que la personne responsable de l'entretien ait une très bonne connaissance des balais et des porte-balais.



SKF Industries, Inc.

Fig. 13 Bien que la construction des roulements à billes et à rouleaux se ressemble, on utilise le roulement à rouleaux lorsque l'utilisation de la dynamo exige une grande résistance mécanique. L'entretien des roulements à une place importante dans un programme d'entretien.

La figure 12 (*b*) représente un porte-balais du type à réaction. Le balai utilisé dans ce genre de porte-balais doit être installé en biais par rapport au collecteur. Il est maintenu en place contre la surface de celui-ci peu importe la direction de rotation. Le haut du balai (non représenté) est bideauté à angle aigu, de façon que le doigt du ressort qui l'appuie contre le collecteur, l'appuie également contre une des faces du porte-balais. La pression du balai peut être modifiée en réglant le ressort. Comme le balai ne peut pas se déplacer aussi facilement de haut en bas, les porte-balais du type à réaction sont rarement installés dans des machines où il y a beaucoup de vibrations.

17 Paliers et roulements

L'induit d'une dynamo est soutenu à chaque extrémité par des paliers d'extrémité. Ceux-ci contiennent les roulements et doivent être assez forts non seulement pour supporter l'induit, mais également pour pouvoir résister à la force exercée par l'engrenage ou la courroie entraînant la charge. Comme le montre la figure 13, plusieurs dynamos utilisent des roulements à billes ou à rouleaux. On utilise un roulement à rouleaux lorsque la contrainte est trop grande pour être supportée par un roulement à billes.

Certains types de dynamo utilisent des paliers lisses.Ce genre de palier est composé d'une enveloppe d'acier ou de fonte munie d'une garniture antifriction. Ce matériau doux antifriction est souvent utilisé comme surface de palier parce qu'il a très peu de chance d'endommager (couper) l'arbre.

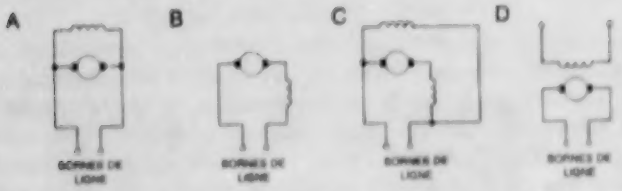
Exercice de contrôle 2

Voici quelques questions qui vous permettront de vérifier vos connaissances sur les pièces des génératrices à courant continu. Si certaines de vos réponses ne correspondent pas aux nôtres, faites une révision avant de poursuivre le cours.

1. Le champ magnétique d'une génératrice à c.c. peut être fourni par des _____ ou des _____.

2. Quel type de connexion d'une dynamo à auto-excitation est représenté par ce schéma?

3. Lequel de ces schémas représente un bobinage inducteur raccordé directement en parallèle avec l'induit?



4. Parmi les schémas ci-dessous, lequel représente une dynamo dont le champ est à excitation séparée?

5. Pour éviter que l'arbre d'une dynamo ne soit endommagé, quel type de roulement doit-on utiliser?

Dans l'espace réservé en face de chaque groupe de mots de la colonne de droite, inscrivez la lettre correspondant à la phrase ci-dessous qui l'explique le mieux.

6. *a.* Fournit normalement le champ magnétique dans les dynamos.
   b. Source de courant continu utilisée pour produire le champ magnétique d'une dynamo.
   c. Dispositif utilisé pour raccorder le collecteur d'une dynamo au circuit extérieur.

Vos réponses

1. _____
   _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. ___ Balai
   ___ Excitatrice
   ___ Électro-aimant

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 2

1. aimants permanents Section 11
   électro-aimants Section 11, Fig. 9
2. en série Section 12, Fig. 9
3. A Section 12, Fig. 9
4. (*connexion shunt*) Section 13
5. roulement muni d'une garniture douce antifriction Section 17
6. *c* balai Section 15
   b excitatrice Section 11
   a électro-aimant Section 11

Rendement de la dynamo

18 Réaction d'induit

Comme vous l'avez appris dans un cours précédent, aussitôt qu'un courant circule dans un conducteur, ce dernier est entouré d'un champ magnétique. Dans le cas des dynamos, le champ magnétique est habituellement fourni par un courant continu dans les bobines de l'inducteur. La figure 14 (*a*) à (*c*) représente une dynamo simple bipolaire. Les conducteurs des bobinages inducteurs sont indiqués par de petits cercles. Les cercles en (a), dans lesquels il y a un petit point, transportent le courant continu vers le lecteur. Les autres cercles, dans lesquels il y a un petit «+», transportent le courant dans la direction opposée, soit vers l'intérieur de la page.

Les bobinages sous tension agissent comme pôle nord (N) et pôle sud (S). La direction des lignes de force (souvent appelée champ principal) est indiquée par les têtes de flèche sur les lignes courbes pleines de «N» à «S». Les bobinages de l'induit ne sont pas sous tension et les balais sont placés exactement à mi-chemin entre les pôles, ou en position neutre (indiquée par la ligne pointillée verticale rouge). La rotation de l'induit s'effectue dans le sens des *aiguilles d'une montre*, tel qu'indiqué par la flèche courbe.

Si les bobinages inducteurs n'étaient *pas* sous tension, tel que le montre la figure 14 (*b*), mais que les conducteurs de l'induit *étaient* alimentés par un courant continu, le champ magnétique ne serait alors produit que par ces conducteurs. Le champ magnétique, indiqué par les lignes pointillées, serait dans le sens des flèches, du bas vers le haut. L'induit agirait comme un aimant dont le pôle nord (N) serait en haut et le pôle sud (S) en bas.

Tel qu'indiqué sur la figure 14 (*c*), lorsque la dynamo fonctionne normalement, le courant est transporté par les conducteurs de l'inducteur et de l'induit. Les deux champs magnétiques produits par le courant de l'induit et celui de l'inducteur se composent pour donner les lignes de force magnétique circulant dans la direction indiquée par

les lignes courbes comportant des flèches (*c*). La réaction d'induit est donc l'effet que le champ d'induit tend à produire sur le champ de l'enroulement inducteur.

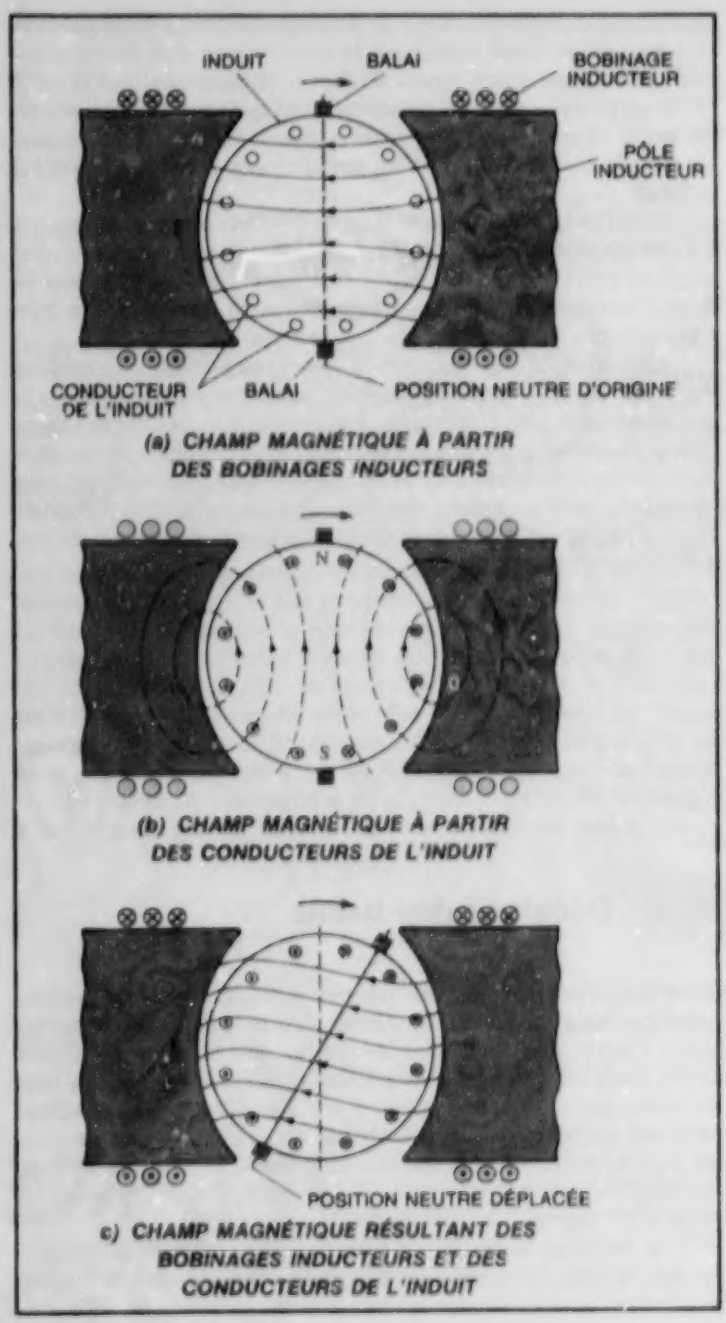


Fig. 14. Le champ uniforme produit par les bobinages inducteurs est affecté par les variations du champ de l'induit. Le champ de l'induit provoque une réaction qui déplace la ligne neutre.

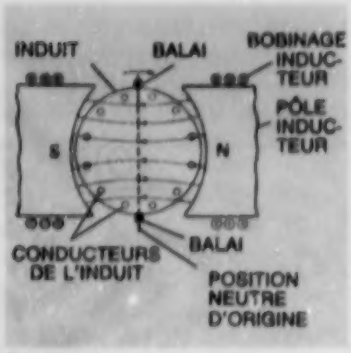


Fig. 14 (*a*)

19 Effets de la réaction d'induit

La réaction d'induit provoque un décalage du champ principal et de sa zone neutre. Étant donné que la zone neutre doit être à angle droit par rapport aux lignes de force, la réaction d'induit cause un décalage de la zone neutre initiale (indiquée par la ligne pointillée sur la figure 14 (*a*)) dans la direction de la rotation de l'induit. De plus, la réaction d'induit s'oppose au champ principal et en réduit la force.

Si les balais demeuraient dans la position neutre d'origine, il y aurait des étincelles sur le collecteur. Idéalement, lorsque le bobinage est court-circuité (ou commuté) par les balais, la bobine ne devrait traverser aucun champ magnétique au moment où la lame à laquelle elle est raccordée se trouve sous le balai.

Cependant, si la position neutre (champ magnétique nul) est décalée par la réaction d'induit, la bobine traversera le champ magnétique lorsqu'elle sera commutée. Par conséquent, la coupure de ce champ magnétique induira une tension dans la bobine et des courants élevés circuleront dans la bobine et le balai. Ce sont ces courants qui causent souvent des étincelles au collecteur. Ces étincelles sont indésirables parce qu'elles abîment la surface du collecteur et des balais.

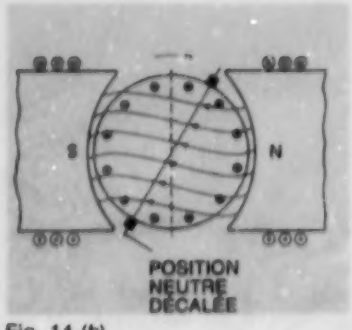


Fig. 14 (*b*)

20 Décalage des balais

On utilise différentes méthodes pour empêcher la formation des étincelles que nous venons de mentionner. L'une consiste à décaler les balais à une nouvelle position neutre, tel que le montre la figure 14 (*b*). Dans cette nouvelle position, aucune tension n'est induite dans les bobinages et par conséquent, il n'y a pas d'étincelles. Comme on le voit sur la figure 14 (*b*), les balais d'une génératrice sont décalés dans la direction de la rotation de l'induit, c'est-à-dire ici dans le sens des aiguilles d'une montre. Selon le cas, le décalage peut aller jusqu'à 20 degrés.

Le décalage des balais a néanmoins plusieurs désavantages. Comme la force du champ magnétique requis varie selon le courant de l'induit, on doit décaler les balais à chaque nouvelle valeur du

courant de l'induit pour obtenir de meilleurs résultats. En réalité, ce décalage n'est pas pratique.

De plus, la direction du décalage varie en fonction de la direction de la rotation. Par conséquent, la position des balais devrait être changée chaque fois que la rotation est modifiée.

21 Pôles de commutation

On peut éviter les effets de la réaction d'induit en utilisant des ***pôles de commutation*** au lieu de décaler manuellement les balais chaque fois que la valeur du courant de l'induit change ou que la direction de la rotation varie. Ces pôles de commutation sont placés à mi-chemin entre les pôles de l'inducteur principal et directement au-dessus des bobinages commutés de l'induit.

Les bobinages des pôles de commutation sont raccordés en série avec l'induit, et le courant qu'ils transportent est proportionnel à celui de ce dernier. La polarité des enroulements de ces bobines est opposée à celle produite par le courant de l'induit. La figure 14 (*c*) montre la position des deux balais: un au-dessus du pôle nord (N) de l'induit et l'autre au-dessus du pôle sud (S). Lorsque des bobinages de pôles de commutation sont utilisés, l'un d'eux étant donné sa position, forme le pôle sud dans le haut de l'induit alors que l'autre forme le pôle nord dans le bas. Chaque pôle est donc placé à mi-chemin entre les pôles des bobinages inducteurs.

Les pôles de commutation empêchent les effets de la réaction d'induit parce que les balais demeurent en position neutre.

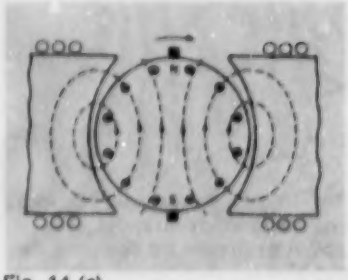


Fig. 14 (*c*)

22 Enroulement de compensation

La réaction d'induit peut également être neutralisée à l'aide d'un enroulement de compensation qui consiste en des bobines incorporées dans la surface du pôle adjacent à l'induit. Les bobines sont raccordées en série avec l'induit de sorte que leur champ — comme celui de l'induit — est proportionnel au courant de l'induit.

La figure 15 montre les effets des enroulements de compensation. Puisque le champ magnétique produit par le conducteur de l'induit s'oppose à celui créé par l'enroulement de compensation, l'effet de la réaction d'induit est éliminé.

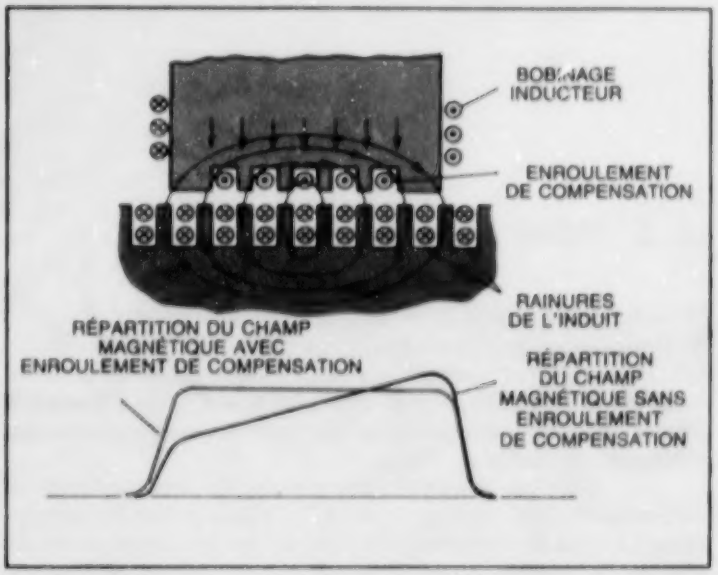
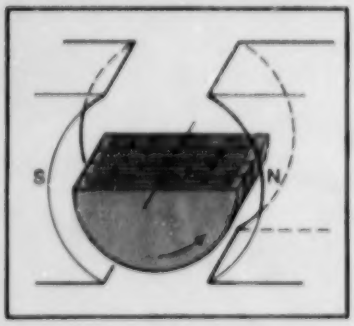


Fig. 15. Lorsque les deux champs magnétiques s'opposent, les deux champs s'équilibrent en chaque point sous les pôles et le courant de l'induit ne modifiera pas le champ magnétique en-dessous des pôles.

Fig. 16. Afin de réduire l'intensité des courants de Foucault, le noyau de l'induit est composé de lamelles ou de plaques embouties de 1/64 po (0,4 mm) d'épaisseur.



L'induit illustré ici comporte quatre couches de ces lamelles; la puissance est donc le quart de celle d'un noyau solide.

23 Courants de Foucault

Deux éléments sont sujets aux variations du champ magnétique: l'acier formant la surface de l'induit d'une génératrice rotative à courant continu et dans une moins grande proportion, l'acier formant la surface des pôles. Souvenez-vous qu'une tension est induite dans un conducteur lorsque celui-ci traverse les lignes du champ magnétique ou lorsqu'il est soumis à une variation de ce dernier. Il y a donc induction d'une tension aussi bien dans l'acier adjacent au conducteur se trouvant dans la rainure que dans le conducteur lui-même. Ces tensions provoquent des courants, appelés courants de Foucault à l'intérieur de l'acier et entraînent une perte d'énergie. Pour réduire ces courants de Foucault, on utilise donc un alliage d'acier et de silicium afin d'en augmenter la résistance électrique. L'acier est également laminé (composé de minces feuilles isolées) de façon à augmenter le parcours total du courant, comme le montre la figure 16.

24 Perte par hystérésis

Lorsque l'induit tourne, il est exposé à des directions alternatives du champ magnétique. La perte par hystérésis est la puissance utilisée ou perdue lorsqu'on inverse la direction du champ magnétique dans le noyau d'induit. Cette perte varie selon le nombre de renversements et la densité du champ magnétique ainsi que selon le matériau en cause. En effet, les pertes sont plus importantes dans le cas de certains aciers. Un acier spécial, causant des pertes par hystérésis plutôt faibles, est donc utilisé pour les noyaux d'induit.

Exercice de contrôle 3

Vous allez maintenant faire une courte pause pour vérifier si vous comprenez bien l'essentiel du fonctionnement d'une dynamo. Lorsque vous aurez répondu aux questions, assurez-vous que vos réponses correspondent bien aux nôtres et faites une révision si nécessaire.

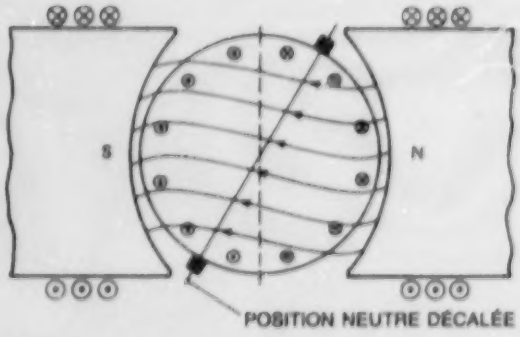
Vos réponses

1. L'action combinée du courant circulant dans le bobinage de l'induit et de celui traversant les bobinages inducteurs produit une distorsion du champ magnétique. C'est ce qu'on appelle _____ .

   A. La commutation
   B. Des étincelles
   C. La réaction d'induit
   D. La compensation

1. _____

2. Observez la position des balais sur le schéma ci-dessous. Que pouvez-vous dire de la rotation de l'induit?



2. _____

   A. La rotation se fait dans le sens des aiguilles d'une montre.
   B. La rotation se fait dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.
   C. L'induit est immobile.

3. À quoi servent les pôles de commutation et les enroulements de compensation?
   A. À commander la vitesse de rotation.
   B. À réduire le jeu axial de l'arbre.
   C. À empêcher des étincelles au collecteur.
   D. À augmenter la force des bobinages de l'inducteur principal.

3. _____

4. Votre contremaître vous demande de vérifier le raccordement de l'enroulement de compensation d'une dynamo. Vous vous assurez donc que celui-ci est bien raccordé (en série, parallèle) _____ avec l'induit.

4. _____

Dans l'espace réservé en face de chaque groupe de mots de la colonne de droite, inscrivez la lettre correspondant à la phrase ci-dessous qui l'explique le mieux.

5. *a.* Incorporés dans la surface des pôles du bobinage inducteur.
   b. Réduisent les courants de Foucault dans l'induit.
   c. Placés à mi-chemin entre les bobinages du champ principal.

5. ____ Pôles de commutation
   ____ Enroulements de compensation
   ____ Noyaux laminés

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 3

1. l'induit
   C La réaction d'induit
   Section 18
2. A Section 20
   (La rotation de l'induit se fait dans le sens des aiguilles d'une montre parce que les balais sont décalés par rapport à leur position neutre).
3. À empêcher les étincelles au collecteur
   Sections 19-22
4. En série Section 22
5. *c* Pôles de commutation Section 21
   a Enroulements de compensation Section 22
   b Noyaux laminés Section 23, Fig. 16

Dynamos de type industriel

25 Types de pertes dans les machines

Vous devez savoir maintenant qu'une des préoccupations majeures des industries, c'est le coût du fonctionnement de la machinerie et de l'équipement. Un des coûts avec lequel vous devez être familiarisé, concerne la perte d'énergie acompagnant la production d'une tension. Cela est général, peu importe si la tension est fournie dans une usine ou par une compagnie d'électricité.

La puissance fournie à une machine est toujours plus grande que celle que cette dernière peut produire. Par exemple, la puissance mécanique nécessaire pour faire tourner une génératrice est toujours plus importante que la puissance électrique produite par cette machine. La différence entre la puissance d'entrée et la puissance de sortie est égale à la perte totale dans la machine.

Cette perte totale se divise en deux catégories. La première comprend les pertes mécaniques: pertes qui se produisent d'une façon ou d'une autre, peu importe si la machine est raccordée ou non à une charge. Par exemple, une dynamo peut être asservie même si elle n'est pas raccordée à un circuit extérieur. Ces pertes mécaniques comprennent celles qui sont dues au frottement dans les paliers, à la résistance de l'air et au frottement des balais.

La deuxième catégorie englobe les pertes électriques. Celles-ci incluent les pertes dépendant de la charge appliquée ou proportionnelles à celle-ci. On distingue: les pertes causées par des balais, les pertes dans le cuivre (ou I^2R, carré du courant multiplié par la résistance), dans les bobinages de l'inducteur et de l'induit, les pertes dans le fer ainsi que les pertes dans la charge de dispersion.

26 Pertes dues au frottement dans les paliers et à la résistance de l'air

Les pertes dues au frottement dans les paliers et à la résistance de l'air (turbulence de l'air résultant de la rotation de l'induit) sont des pertes mécaniques qui consomment la puissance requise pour faire

tourner l'induit à une vitesse normale, sans courant dans l'induit ni champ inducteur. Les facteurs influant sur le frottement dans les paliers sont entre autres le type de lubrifiant utilisé et l'aire des surfaces internes en contact avec les roulements.

Les pertes dues à la résistance de l'air sont fonction de la forme des surfaces mobiles. Plus il y a de turbulence produite par les surfaces mobiles, plus grandes sont les pertes causées par la résistance de l'air.

27 Pertes causées par le frottement des balais

Les balais montés sur la surface d'un collecteur agissent comme des freins sur l'induit en raison du frottement entre la surface du collecteur et les balais. L'importance de ces pertes dépend de la vitesse du collecteur, de la superficie totale des balais ainsi que du matériau constituant les balais.

28 Pertes dues au contact des balais

Il s'agit d'une perte par résistance égale à la chute de tension se produisant entre le balai et la surface du collecteur multipliée par le courant. Donc dans un circuit ouvert, ce genre de perte est inexistant. Cette perte augmente avec la charge, mais demeure constante une fois que la charge est appliquée. On peut donc dire que cette perte est fonction de la charge. En pratique, la valeur de la tension varie selon le matériau constituant les balais et selon que ceux-ci sont munis de shunts ou de flexibles (aussi appelés queues de cochon) (voir fig. 12).

29 Pertes dans le cuivre

Ces pertes (ou I^2 R) dans les bobinages de l'induit et de l'inducteur sont fonction de l'intensité du courant et des résistances des bobinages. En général, les résistances utilisées sont corrigées pour 75°C (degrés Celsius) ou 167°F (degrés Farenheit) étant donné que ces degrés représentent la température moyenne de fonctionnement des bobinages de ces machines. Bien que cette température puisse varier d'un appareil à l'autre, selon la charge et le système de refroidissement de l'induit, le point important à retenir est que les pertes $I^2 R$ varient en fonction du carré du courant. Par exemple, si le courant triple, les pertes $I^2 R$ augmentent neuf fois ou 3^2.

30 Pertes dans le fer

Les pertes dans le fer à l'intérieur du noyau de l'induit s'appellent aussi pertes dans le noyau puisqu'elles représentent la puissance utilisée dans ce dernier. Elles englobent les pertes par hystérésis et celles causées par les courants de Foucault. Tel qu'expliqué précédemment, les pertes causées par les courants de Foucault proviennent du matériau de l'induit agissant comme conducteur. Comme nous l'avons vu, l'induit est laminé pour réduire la longueur efficace du conducteur.

L'autre type de perte dans le noyau est causée par hystérésis; il s'agit de la puissance requise pour inverser la direction du champ magnétique dans le fer ou l'acier.

31 Pertes dans la charge de dispersion

Lorsqu'on vérifie des dynamos, on peut en déterminer les pertes en mesurant la puissance d'entrée et la puissance de sortie de l'appareil et en calculant la différence. Cette différence représente les pertes. Cependant, les pertes mesurées sont toujours supérieures aux pertes calculées. Ce sont ces pertes supplémentaires que nous appelons pertes dans la charge de dispersion. Il peut s'agir de pertes causées par les courants de Foucault dans les conducteurs de l'induit ou par la distorsion du champ magnétique résultant de la réaction d'induit.

32 Rendement d'une dynamo

Le rendement est d'une grande importance dans une dynamo et dans la plupart des équipements. L'ensemble de toutes les pertes d'une dynamo représente la perte de puissance totale d'une machine. Donc, si la puissance de sortie et la perte totale d'une machine sont connues, la puissance d'entrée est égale à la somme de la puissance de sortie et de la perte totale, soit:

$$\text{Puissance d'entrée} = \text{puissance de sortie} + \text{perte totale} \quad (1)$$

Le rendement de la machine est le rapport entre la puissance d'entrée et la puissance de sortie d'une machine et s'exprime généralement en pourcentage (%):

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Puissance sortie}}{\text{Puissance entrée}} \times 100 \quad (2)$$

Pour calculer le rendement en utilisant cette formule, les puissances d'entrée et de sortie doivent être exprimées avec les mêmes unités, soit en watts (ou kilowatts) ou en horse-power.

Par exemple, si la puissance de sortie d'une génératrice est de 90 kW (kilowatts) et que les pertes sont de 10 kW, la formule (1) permet de déterminer la puissance d'entrée comme suit: 90 + 10 = 100 kW. La formule (2) montre alors que le rendement de la génératrice est de 90%, soit:

$$\frac{90 \times 100}{100} = 90\%$$

33 Régulation de la tension

La tension produite par une génératrice dépend de la vitesse à laquelle l'induit est entraîné et de l'intensité du champ magnétique. Puisque le champ magnétique est produit par le courant circulant à travers le bobinage inducteur, nous pouvons donc dire que la tension dépend également de la vitesse de l'induit et de la valeur du courant inducteur. Si la vitesse, le courant inducteur ou les deux sont augmentés, la tension augmente aussi. De même, si l'un de ces facteurs, ou les deux, diminue, la tension en fait autant.

En principe, la tension d'une génératrice n'est pas contrôlée en augmentant ou en diminuant la vitesse de l'induit: il est préférable de faire fonctionner la génératrice à sa vitesse normale. La tension est donc généralement contrôlée en augmentant ou en diminuant l'excitation de l'inducteur. Il existe plusieurs types de régulateurs de tension. Plusieurs sont entièrement automatiques et règlent ou régularisent la tension selon les valeurs désirées à l'aide de circuits de commande électriques et électroniques.

34 Fonctionnement des génératrices en parallèle

Afin de fournir un courant accru, les génératrices des centrales électriques sont raccordées en parallèle par des circuits communs. Dans le cas des dynamos shunt, la charge est maintenue en équilibre par le réglage de rhéostats (résistances variables) raccordés en série avec chaque inducteur shunt. La tension peut être augmentée (alors que les courants demeurent égaux) en augmentant l'excitation de l'inducteur des deux génératrices. S'il s'agit de génératrices de capacité inégale, les charges sont généralement divisées proportionnellement aux capacités nominales des dynamos.

Exercice de contrôle 4

Faites une pause de quelques minutes pour revoir quelques points-clés avant de passer à l'examen personnel. Vérifiez si vos réponses correspondent aux nôtres et faites une révision si nécessaire.

1. Si vous augmentez la charge d'une dynamo, les pertes dues au contact des balais augmentent-t-elles ou diminuent-t-elles?

2. Si le courant de l'induit augmente de 10 à 20 A, les pertes dans le cuivre de l'induit seraient de combien de fois supérieures à ce qu'elles étaient avant cette augmentation?

   A. Moitié
   B. Deux fois
   C. Trois fois
   D. Quatre fois

3. On vous demande de calculer la puissance de sortie d'une dynamo. On vous demande ensuite de diviser cette valeur par la puissance d'entrée et d'en multiplier le résultat par 100. Ce calcul vous aide à déterminer _____ de la dynamo.

4. Que doit-on régler pour faire varier la tension de sortie d'une dynamo?

   A. L'excitation de l'inducteur
   B. La vitesse de l'induit
   C. La pression des balais
   D. La zone neutre

Dans l'espace réservé en face de chaque groupe de mots de la colonne de droite, inscrivez la lettre correspondant à la phrase ci-dessous qui l'explique le mieux.

5. *a.* Constituent les pertes dues au frottement dans les paliers, au frottement des balais et à la turbulence de l'air.
   b. Sont égales à la différence entre les valeurs mesurées de la puissance d'entrée et de la puissance de sortie.
   c. Constituent les pertes dues au contact des balais, les pertes dans le cuivre, le fer et la charge de dispersion.

Vos réponses

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 4

1. augmente — Section 28
2. *D.* quatre fois — Section 29
3. rendement — Section 32

$$\text{Rendement} = \frac{\text{sortie}}{\text{entrée}} \times 100$$

4. *A.* excitation de l'inducteur — Section 33

5. ___*b*___ pertes totales de la machine — Section 25
   ___*c*___ pertes électriques — Section 25
   ___*a*___ pertes mécaniques — Section 25

Examen personnel

Lisez attentivement chacune des phrases ci-dessous et assurez-vous que vous en comprenez bien le sens. Chaque phrase est suivie de quatre groupe de mots, phrases ou symboles dont un seulement est exact. Faites un X sur la lettre qui correspond à votre réponse.

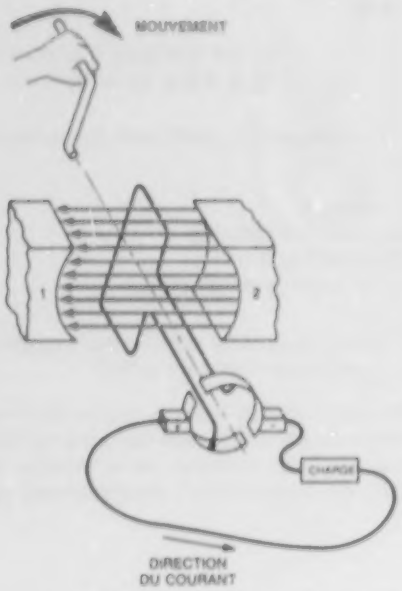
1. Qu'arrive-t-il lorsqu'on augmente la vitesse d'une génératrice?

   A. La charge diminue.
   B. Le courant inducteur est inversé.
   C. La perte due à la résistance de l'air diminue.
   D. La tension induite augmente.

2. À quel moment la tension induite dans la bobine rotative d'une génératrice est-elle à son maximum?

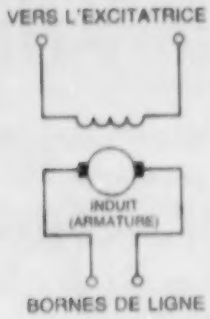
   A. Lorsque la bobine se déplace parallèlement aux lignes de force.
   B. Lorsque la bobine coupe le minimum de lignes de force.
   C. Lorsque la bobine est à angle droit avec les lignes de force.
   D. Lorsque la bobine est dans la position verticale entre les pôles.

3. Observez le schéma ci-dessous. On donne les directions du mouvement, du champ magnétique et du courant circulant dans la charge. Quelle est la polarité magnétique exacte?



   A. Le pôle 1 est le pôle sud et le pôle 2 est le pôle nord.
   B. Le pôle 1 est le pôle nord et le pôle 2 est le pôle sud.
   C. Ce sont deux pôles nord.
   D. Ce sont deux pôles sud.

4. Quel type de connexion représente ce schéma de câblage d'une dynamo?



A. Dynamo série à excitation indépendante
B. Dynamo shunt à excitation indépendante
C. Dynamo compound à auto-excitation
D. Dynamo série auto-excitation

5. Dans votre programme d'entretien préventif, vous devez inspecter et nettoyer les porte-balais et remplacer les balais d'une dynamo. Un certain nombre d'opérations sont énumérées sur votre fiche de travail. Laquelle des parties suivantes fera l'objet de votre travail?

A. Les flasques
B. Le collecteur
C. Le montage (l'appareillage)
D. L'arbre de la dynamo

6. Afin d'obtenir une meilleure commutation, comment devez-vous déplacer les balais d'une dynamo?

A. Dans la direction de la rotation.
B. Dans la direction de la polarité inductrice.
C. Dans le sens contraire de la rotation.
D. Dans le sens contraire de la force d'induction.

7. Laquelle des méthodes suivantes peut être utilisée pour empêcher la formation d'étincelles au niveau des balais d'une dynamo?

A. Installation de pôles de commutation dans le noyau de l'induit.
B. Installation d'enroulements de compensation dans les surfaces des pôles.
C. Décalage des balais dans le sens contraire de la rotation de l'induit.
D. Installation de bobinages de commutation parallèlement aux bobinages de l'induit.

8. Pour quelle raison utilise-t-on un alliage de silicium et d'acier dans la fabrication du noyau de l'induit d'une dynamo?

   A. Pour réduire les courants de Foucault à l'intérieur du noyau de l'induit.
   B. Pour augmenter la perte par hystérésis dans le noyau.
   C. Pour diminuer la résistance des conducteurs de l'induit.
   D. Pour réduire la résistance au flux du courant dans le noyau.

9. Laquelle des pertes suivantes peut se produire même si la dynamo n'est pas raccordée à une charge?

   A. Perte $I^2 R$
   B. Perte par frottement des balais
   C. Perte dans le cuivre
   D. Perte dans le fer

10. Le fonctionnement d'une dynamo exige une puissance de 100 W et sa puissance de sortie est de 80 W. Quelle est son rendement?

    A. 8 %
    B. 12,5 %
    C. 80 %
    D. 125 %

Vous trouverez les réponses à la page 296.

Génératrices à courant continu

AF0108

(Lexiques)

Français	Anglais
Aimant	Magnet
Bague collectrice	Slip Ring
Balais	Brush
Bobinage	Winding
Bobine	Coil
Bobine de champ	Field Coil
Champ magnétique	Magnetic Field
Charge de dispersion	Stray Load
Commutateur	Commutator
Cuivre	Copper
Décalage	Shifting
Électro-aimant	Electromagnet
Excitatrice	Exciter
Fil	Wire
Force	Strength
Force électromotrice (F.E.M.)	Electromotive Force (E.M.F.)
Forme d'onde	Waveform
Frottement	Friction
Générateur	Generator
Génératrice à courant continu	D-C- Generator
Hystérésis	Hysteresis
Induit	Induced
Noyau	Core
Palier	Bracket
Perte	Loss
Pôle de commutation	Commutating Pole (Interpole)
Porte-balais	Brush-holder
Potentiel	Potential
Rainure	Slot
Réaction d'induit	Armature Reaction
Régulateur de tension	Voltage Controller
Rendement	Efficiency
Résistance de l'air	Windage
Roulement	Bearing
Taux	Rate
Tension	Voltage
Vitesse	Speed

Anglais	Français
Armature Reaction	Réaction d'induit
Bearing	Roulement
Bracket	Palier
Brush	Balais
Brush-Holder	Porte-balais
Coil	Bobine
Commutating Pole (Interpole)	Pôle de commutation
Commutator	Commutateur
Copper	Cuivre
Core	Noyau
D-C Generator	Génératrice à courant continu
Efficiency	Rendement
Electromagnet	Électro-aimant
Electromotive Force (E.M.F.)	Force électromotrice (F.E.M.)
Exciter	Excitatrice
Field Coil	Bobine de champ
Friction	Frottement
Generator	Générateur
Hysteresis	Hystérésis
Induced	Induit
Loss	Perte
Magnet	Aimant
Magnetic Field	Champ magnétique
Potential	Potentiel
Rate	Taux
Shifting	Décalage
Slip Ring	Bague collectrice
Slot	Rainure
Speed	Vitesse
Stray Load	Charge de dispersion
Strength	Force
Voltage	Tension
Voltage Controller	Régulateur de tension
Waveform	Forme d'onde
Windage	Résistance de l'air
Winding	Bobinage
Wire	Fil

TABLEAU DES ÉQUIVALENCES POUR LA SECTION DES CONDUCTEURS

Numéro de jauge AWG/ B&S	Diamètre du fil nu		Section	
	mm	mils	mm^2	cmils
250MCM	12,7	500	126,6	250 000
4/0	11,7	460	107,4	212 000
2/0	9,27	365	67,4	133 000
1/0	8,26	325	53,5	105 600
1	7,35	289	42,4	87 700
2	6,54	258	33,6	66 400
3	5,83	229	26,6	52 600
4	5,18	204	21,1	41 600
5	4,62	182	16,8	33 120
6	4,11	162	13,30	26 240
7	3,66	144	10,5	20 740
8	3,25	128	8,30	16 380
9	2,89	114	6,59	13 000
10	2,59	102	5,27	10 400
11	2,30	90,7	4,17	8 230
12	2,05	80,8	3,31	6 530
13	1,83	72,0	2,63	5 180
14	1,63	64,1	2,08	4 110
15	1,45	57,1	1,65	3 260
16	1,29	50,8	1,31	2 580
17	1,15	45,3	1,04	2 060
18	1,02	40,3	0,821	1 620
19	0,91	35,9	0,654	1 290
20	0,81	32,0	0,517	1 020
21	0,72	28,5	0,411	812
22	0,64	25,3	0,324	640
23	0,57	22,6	0,259	511
24	0,51	20,1	0,205	404
25	0,45	17,9	0,162	320
26	0,40	15,9	0,128	253
27	0,36	14,2	0,102	202
28	0,32	12,6	0,080	159
29	0,29	11,3	0,065	128

TABLEAU DES ÉQUIVALENCES

SYSTÈME IMPÉRIAL	SYSTÈME INTERNATIONAL
1 pouce 1 verge 1 mille	2,54 cm 0,9144 m 1,61 km
°F	(°C × 9/5) + 32
1 m.p.h.	1,61 km/h
1 livre (force)	4,45 N
1 livre par pouce carré 1 pouce de mercure 1 atmosphère	6,89 kPa 3,39 kPa 101,325 kPa
1 B.T.U. 1 calorie 1 kilowatt-heure	1,06 kJ 4,19 J 3,5 MJ
1 H.P.	0,746 kW
1 ligne 1 Maxwell	10^{-8} Wb 10^{-8} Wb
1 circular mil	506,7 μm^2
1 oersted	79,6 A/m

TABLEAU COMPARATIF

	SYSTÈME IMPÉRIAL	SYSTÈME INTERNATIONAL	
Grandeur	Unité	Unité	Symbole
longueur	fraction de pouce pouce pied verge mille	millimètre centimètre décimètre mètre kilomètre	mm cm dm m km
section	mils circulaire pouce carré pied carré mille carré	millimètre carré centimètre carré mètre carré kilomètre carré	mm^2 cm^2 m^2 km^2
volume	once liquide, chopine pinte, gallon pouce cube pied cube verge cube	millilitre litre centimètre cube décimètre cube mètre cube	ml *l* cm^3 dm^3 m^3
masse	once livre tonne	gramme kilogramme tonne (métrique)	g kg t
température	degré Fahrenheit	degré Celsius	°C
vitesse	milles à l'heure	kilomètre heure	km/h
force	livre-force	newton	N
couple	livre-pied	newton-mètre	N.m
pression	livres par pouce carré ou pouces de mercure ou atmosphère	kilopascals	kPa
énergie travail	B.T.U., livres-pieds, calories, kilowatts-heures	joules	J
puissance	horse-power	watts	W
luminosité	bougies	candelas	cd
flux	lignes maxwells	Weber Weber	Wb Wb
densité de flux	lignes/pouce carré maxwells/pouce carré	$Weber/m^2$ Tesla $Weber/m^2$ Tesla	Wb/m^2 T Wb/m^2 T
conductance	mho	siemens	S

Réponses et références de l'examen personnel
(AF0101)

Question	Réponse	Référence
1	B	Section 1
2	A	Section 1
3	C	Section 5
4	A	Section 7
5	D	Section 8
6	C	Section 9, Tableau 2
7	A	Section 11
8	C	Section 13
9	B	Section 15
10	C	Section 18, Tableau 3

Réponses et références de l'examen personnel
(AF0102)

Question	Réponse	Référence
1	A	Section 1
2	C	Section 2
3	B	Section 3
4	D	Section 5
5	B	Section 6
6	D	Section 8
7	C	Section 10
8	A	Section 12
9	B	Section 14
10	C	Section 15

Réponses et références de l'examen personnel
(AF0103)

Question	Réponse	Référence
1	B	Section 1
2	C	Section 5
3	D	Section 8
4	A	Section 9
5	D	Section 12
6	A	Section 13
7	C	Section 17
8	B	Section 18
9	A	Section 18
10	D	Section 19, 20; Fig. 16

Réponses et références de l'examen personnel
(AF0104)

Question	Réponse	Référence
1	A	Section 4, Fig. 2
2	D	Section 6, Fig. 6
3	B	Section 6, Fig. 6
4	B	Section 8
5	D	Section 11
6	C	Section 13, Fig. 13
7	B	Section 15
*8	C	Section 16
*9	A	Section 17
*10	D	Section 18

*** Solutions**

8. $I = \frac{E}{R} = \frac{12}{4} = 3\ \text{A}$

9. $R = \frac{E}{I} = \frac{28}{7} = 4\ \Omega$

10. $E = I \times R = 3 \times 6 = 18\ \text{V}$

Réponses et références de l'examen personnel
(AF0105)

Question	Réponse	Référence
*1	D	Section 6
*2	A	Sections 7 et 8
*3	B	Sections 9 et 10
*4	A	Sect. 11, problème 2
*5	C	Section 13
*6	C	Section 15
*7	C	Section 16
*8	A	Section 17
*9	D	Section 18
*10	C	Section 19

*** Solutions**

1. $R_T = R_1 + R_2 = 6\ \Omega + 4\ \Omega = 10\ \Omega$

2. $R_T = R_1 + R_2 = 2\ \Omega + 10\ \Omega = 12\ \Omega$
   $I = \frac{E}{R} = \frac{12}{12} = 1\ \text{A}$

3. $18\ \text{V} - 7\ \text{V} = 11\ \text{V}$

4. **Puisque la résistance est doublée, le courant diminue de moitié: 1,5 A.**

5. $I_T = I_1 + I_2 = 9 + 3 = 12\ \text{A}$

6. $32 \div 4 = 8\ \Omega$

7. $\dfrac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \dfrac{4 \times 12}{4 + 12} = \dfrac{48}{16} = 3\ \Omega$

8. **La résistance équivalente est inférieure à 8 Ω (plus petite que la plus petite des résistances).**

9. $R_T = \dfrac{E_T}{I_T} = \dfrac{24}{2} = 12\ \Omega$

10. **La tension est la même sur toutes les résistances d'un circuit parallèle.**

Réponses et références de l'examen personnel

(AF0106)

Question	Réponse	Référence
1	D	Section 1, fig. 1
2	C	Section 3
3	C	Section 3
4	B	Section 4
5	D	Section 5
6	B	Section 6
7	A	Section 7
8	D	Section 9
9	D	Section 12, tableau
10	B	Section 18

Réponses et références de l'examen personnel
(AF0107)

Question	Réponse	Référence
1	A	Section 4
2	B	Section 8
3	D	Section 9
4	B	Section 12
5	D	Section 14
6	C	Section 17
7	B	Section 20
8	A	Section 23, Fig. 14
9	C	Section 31
10	C	Section 39

Réponses et références de l'examen personnel
(AF0108)

Question	Réponse	Référence
1	D	Sections 1, 5, 6
2	C	Section 7
3	A	Sect. 10, Fig. 6
4	B	Sect. 12, 13, Fig. 10 (*a*)
5	C	Sect. 16, Fig. 12
6	A	Section 20
7	B	Sect. 19, 20, 22, Fig. 15
8	A	Section 23
9	B	Section 25
*10	C	Section 32

*** Solution:**

10. Rendement = $\frac{80}{100} \times 100 = 80\%$

Principes du courant continu

Index alphabétique

Accumulateur / 60-81-93
Acier laminé / 272
Action génératrice / 236
Action motrice / 236-238
Aimant / 209
Ampèretour / 218
Ampère/heure / 100
Ampère / 19-180
Armature / 232
Attraction (loi) / 24-211
Auto-excitation / 263

Bagues collectrices / 254
Balais / 257-258-264
Barillet / 99
Batteries / 81-87-113
Bell Alexander Graham / 13
Bipolaires (Interrupteurs) / 126
Bobinage inducteur / 261
Bobines / 235
Boîtes de sortie / 191
Bornes / 83-91-114
Borne coulissante / 116
Bouchons de ventilation (accumulateurs) / 91
Boussole / 211-224-227

Câble / 186
Câble armé / 186
Câble CNM / 186
Câble NM / 186
Calendrier de travail / 48
Cames / 234
Capacité (Accumulateur) / 100
Capacité (condensateur) / 123
Capuchon de remplissage / 95
Capuchon de ventilation / 93
Carte d'identification (machines électriques) / 50
Cellule photoélectrique / 82
Cellule / 81
Cellule photovoltaïque / 82
Champ de shunt / 263
Champ magnétique / 211-223
Champ série / 263
Charge électrique / 24-82
Charge emmagasinée / 123
Charge statique / 26
Chute de tension / 150
Cintreuse / 194
Circuit asservi / 232
Circuit de commande / 232
Circuit électrique / 33-143
Circuit fermé / 33-143
Circuit magnétique / 215
Circuit ouve.. / 33-143
Circuit parallèle / 154
Circuit série/parallèle / 164
Circuit série / 146
Circuit simple / 145
Code de couleurs / 117
Codification (résistances) / 117
Collecteur / 257
Commutateur à gradins / 234
Commutation / 258
Compound / 262
Compteur d'électricité / 183
Compteur serre-fils / 55
Condensateurs / 123
Condensateurs fixes / 124
Condensateurs variables / 124
Conducteur / 13-14-17
Conductivité / 17
Conductivité relative / 18
Conduits / 191-193
Connecteur à sertir / 195
Connecteur vissable / 195
Connexions de l'inducteur / 262
Coupage / 194
Courants de Foucault / 272
Courant (circuit série) / 149
Courant continu / 31-32
Courant conventionnel / 222
Courant électrique / 81-144-179

Courant induit / 252
Courant (circuit parallèle) / 155
Courte dérivation / 263
Cycle / 256

Décalage des balais / 269-270
Décharge (Accumulateur) / 99
Densité (Électrolyte) / 99
Densité admissible / 188
Densité de flux / 217
Diagnostic (machines électriques) / 66
Diagramme schématique / 113
Diamètre des fils / 188
Diélectrique / 27-123
Différence de potentiel / 149
Disjoncteur / 68
Dynamos / 83-257

Edison Thomas A. / 13
Effet magnétique / 222
Électricité / 13-177
Électricité statique / 21-27-128
Électrisation / 21-25
Électrode / 82-90
Électrolyte / 60-91-96-99
Électromagnétisme / 222
Électron libre / 17-177
Électro-aimant / 210-231-261
Enroulement de compensation / 271
Entretien correctif / 47
Entretien du câble / 187
Entretien préventif / 47-48
Épissage / 194
Équilibrage des charges / 279
Étincelles (au collecteur) / 270
Excitation / 263
Excitation indépendante / 263
Excitatrice / 262

Farad / 125
Fer à souder / 198
Fiche d'entretien / 50
Flotteur / 99
Flux décapant / 196
Flux magnétique / 211-217-252
Fonctionnement en parallèle (dynamo) / 279
Forces magnétiques / 225
Force coercitive / 220
Force électromotrice / 19
Force magnétisante / 218
Force magnétomotrice / 218
Forme d'onde / 256
Fréquence / 179

Garniture hydrophile / 86
Génératrice simple / 253
Genres d'interrupteurs / 126
Gravité spécifique (Électrolyte) / 61

Hydromètre / 61-99-100
Hystérésis / 219

Indicateur de polarité / 227
Inductance mutuelle / 239
Induction / 251
Induction électromagnétique / 236-252
Induction magnétique / 214
Induit / 254-264
Installation / 65-69
Intensité / 19
Intensité de courant / 180
Intensité du champ / 227
Interrupteur / 125-144
Interrupteur à bascule / 126
Interrupteur à coulisse / 126
Isolant / 13-16

Jauge (conducteurs) / 35
Joint / 197
Joint d'étanchéité / 91

Lampe à incandescence / 13
Lignes de force / 211
Ligne neutre / 210
Loi des pôles / 211-228
Loi d'Ohm / 19-132
Loi d'Ohm (application) / 147
Longue dérivation (excitation) / 263

Magnétisme / 209
Maxwell / 217
Mesures préventives / 49-56
Mise à la terre / 26-28-129
Montage en saillie / 191
Morse Samuel F.B. / 13
Moteur compound / 263

Nettoyage (accumulateurs) / 61) 96-97
Nichrome / 115
Noyau (magnétique) / 231
Numéros de calibre / 188

Ohm / 13-19-114
Ohm George Simon / 13

Orbite */ 14*
Orifice de ventilation */ 94*

Paliers d'extrémité */ 266*
Perméabilité */ 219*
Pertes */ 277*
Pertes dans le cuivre */ 277*
Pertes dans le fer */ 278*
Pertes d'énergie */ 276*
Pertes électriques */ 276*
Pertes mécaniques */ 276*
Pertes par contact */ 277*
Pertes par dispersion */ 278*
Pertes par frottement */ 277*
Pertes par hystérésis */ 273*
Piles */ 32-81-113*
Piles humides */ 90*
Piles primaires */ 83*
Piles secondaires */ 83*
Pile sèche */ 81*
Pistolet à souder */ 198*
Plaques (condensateur) */ 123*
Plongeur */ 235*
Polarités (tension induite) */ 253-256*
Pôles */ 210*
Pôles de commutation */ 271*
Pont polaire */ 93-97*
Porte-balais (à boîtier) */ 265*
Porte-balais (à réaction) */ 266*
Potentiomètre */ 120*
Pression électrique */ 179*
Programme d'entretien */ 47*
Propriétés magnétiques */ 218*
Proton */ 15*
Puissance (des résistances) */ 120*
Puissance électrique */ 181*

Raccordement (conducteurs) /
Raccordement parallèle (Piles) */ 88*
Raccordement série (Piles) */ 87*
Réaction d'induit */ 268*
Réaction d'induit (effet) */ 279-271*
Réapprovisionnement */ 56*
Recharge (Accumulateur) */ 101*
Registres */ 50-51*
Règles d'entretien (Accumulateur) */ 63-102*
Règles (circuit parallèle) */ 156*
Règles (circuit série) */ 151*
Règle de la main droite */ 224-226-237-252*
Règle de la main gauche */ 238*
Régulateurs de tension */ 279*
Relais électromagnétique */ 231*
Réluctance */ 219*
Rémanence */ 220*
Rendement (dynamo) */ 278*
Répulsion (charges électriques) */ 24*
Résistances au carbone */ 115*
Résistances bobinées */ 115*
Résistances constantes */ 114*
Résistance */ 19-34-114*
Résistance équivalente */ 157*
Résistance totale (parallèle) */ 157*
Résistance totale (série) */ 147*
Résistance totale (série/parallèle) */ 165*
Résistance variable */ 120*
Résumé (série/parallèle) */ 161*
Rhéostat */ 120*
Ronfleur */ 233*
Roulements à billes */ 266*
Roulements à rouleaux */ 266*
Ruban de tirage */ 194*

Saturation magnétique */ 219*
Sectionneur/inverseur */ 126*
Séparateur (Accumulateur) */ 90*
Séquence électrique */ 22*
Shunt */ 262*
Simplification de circuit */ 165*
Solénoïde */ 226-235*
Sonnette */ 233*
Structure atomique */ 18*
Substances ferromagnétiques */ 213*
Substances non magnétique */ 213*
Symboles (Piles) */ 113*
Symboles schématiques */ 128-145*

Tachymètre */ 50*
Taux de charge (Accumulateur) */ 101*
Taux de décharge (Accumulateur) */ 101*
Techniques de soudage */ 196*
Tension */ 179*
Tension alternative */ 257*
Tension induite */ 237-251-254*
Tension induite (valeur) */ 255*
Tension induite (variation) */ 255*
Tesla */ 218*
Test (Accumulateur) faible et pleine charge */ 99-100*
Thermocouple */ 82*
Tolérance (résistance) */ 117*
Transformateur */ 239*
Travail */ 179*

Types (de résistance) / *115*
Types de soudures / *196*

Unipolaire (interrupteur) / *126*
Unités magnétiques / *217*

Valeurs (condensateurs) / *124*
Vérification (Accumulateurs) / *99-100*
Voltage / *19-34*
Volt / *34*
Volume des boîtes / *191*

Wattmètre / *182*
Watt / *181*
Weber / *217*

DE L'ÉLECTRON AU MICROPROCESSEUR

8015 Principes du courant continu
8016 Principes et composants du courant alternatif
8017 Appareils et mesures électriques
8018 Appareillage électrique
8020 Mesures électroniques et instrumentation
8021 Circuits réactifs
8022 Composants électroniques
8023 Circuits électroniques de base
8024 Systèmes électroniques
8025 Dépannage d'appareils et systèmes électroniques
8026 Circuits impulsionnels
8027 Circuits logiques
8028 Circuits intégrés linéaires et numériques
8029 Systèmes d'ordinateurs industriels de base
8030 Introduction aux microprocesseurs
8031 Application des microprocesseurs
8032 Instrumentation et contrôle électroniques
8033 Applications de circuits électroniques industriels
8034 Applications de systèmes électroniques industriels de base
8035 Techniques avancées de dépannage

Gouvernement du Québec
Direction des cours
par correspondance

Imprimé au Québec, Canada